

Ein photometrisches Verfahren zur Messung von Erythem
und Pigment der Haut.

Optimierung der Meßapparatur und Standardisierung des
Meßverfahrens.

Wolfgang Röckl

Diss
München
1984



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554007_0007



Aus dem Institut für Medizinische Balneologie und
Klimatologie der Universität München
Vorstand: Prof. Dr. med. H. Drexel

Ein photometrisches Verfahren zur Messung von Erythem
und Pigment der Haut.
Optimierung der Meßapparatur und Standardisierung des
Meßverfahrens

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Wolfgang Röckl
aus
Viersen

1984

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Universität München

Berichterstatter: Dipl. Phys. K. Dirnagl
Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. H. Drexel
Korreferent: Prof. Dr. med. O. Braun-Falco
Dekan: Prof. Dr. med. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 29.5.1984

Meinen Eltern gewidmet

Inhaltsverzeichnis

Seite

1.	EINLEITUNG	1
1.1.	<u>Vorbemerkung</u>	1
1.2.	<u>Erythem, Pigmentierung und deren Bestimmung durch photometrische Remissionsmessung an der Haut</u>	2
1.2.1.	Begriffsklärung	2
1.2.1.1.	Definition von Reflexion und Remission	2
1.2.1.2.	Definition von Erythem	3
1.2.1.3.	Definition von Pigmentierung	3
1.2.2.	Erythem und Pigmentierung als Folge von Strahleneinwirkung auf die Haut	3
1.2.2.1.	Erythem und Pigmentierung als "Nebenwirkung"	3
1.2.2.2.	Erythem und Pigmentierung als Meßparameter	4
1.2.2.3.	Erythem und Pigmentierung als primärer Gegenstand medizinisch wissenschaftlicher Forschung	5
1.2.3.	Beurteilung der Hautfarbe hinsichtlich des Erythem- und Pigmentierungsgrades	6
1.2.3.1.	Subjektive Beobachtungsverfahren	6
1.2.3.2.	Photographische Methoden	6
1.2.3.3.	Photometrische Meßverfahren	7
1.2.3.3.1.	Photometrische Meßverfahren ohne spektrale Selektion	7
1.2.3.3.2.	Photometrische Meßverfahren mit spektral-zerlegtem Licht	8
1.2.3.3.3.	Photometrische Meßverfahren zur Messung in mehreren Spektralbereichen mit gefiltertem Licht	9
1.2.3.4.	Zur Problematik der Wahl des Spektralbereichs	15
1.3.	<u>Problemstellung</u>	22
1.3.1.	Ausgangssituation bei Beginn der Arbeit	22
1.3.2.	Verbesserungsbedürftige Unzulänglichkeiten der Remissionsmeßapparatur	23

	<u>Seite</u>
1.3.2.1. In früheren Arbeiten angeregte Verbesserungsvorschläge	23
1.3.2.2. Auswertungsergebnisse von bereits durchgeführten Versuchen	24
1.4. <u>Fragestellung</u>	27
2. METHODIK	28
2.1. <u>Bestandsaufnahme der bisher am Institut für med. Balneologie der Universität München verwendeten Remissionsmeßapparatur und des Auswertungsverfahrens</u>	28
2.1.1. Meßapparatur	28
2.1.2. Meßvorgang	29
2.1.3. Auswertungsverfahren	30
2.2. <u>Änderung der Remissionsmeßapparatur und kritische Reflexion des Meßvorganges</u>	30
2.2.1. Theoretische Überlegungen	30
2.2.2. Praktische Durchführung der Weiterentwicklung der Remissionsmeßapparatur und des Auswertungsverfahrens	33
2.2.2.1. Aufbau der Remissionsmeßapparatur	33
2.2.2.2. Betrieb der Remissionsmeßapparatur	44
2.2.2.3. Kalibrierung	55
2.2.2.4. Formel zur Bestimmung des Remissionswertes	57
2.2.2.5. Formel zur Umrechnung von relativer Remission zu absoluter Remission	57
2.3. <u>Testversuche an Versuchspersonen</u>	57
2.3.1. Versuchspersonen	58
2.3.2. Methodenstand bei der Versuchsdurchführung	58
2.3.3. Bei den Bestrahlungsversuchen verwendete Strahler	59
2.3.4. Filterwahl	59
2.3.5. Auflagedruck des Meßkopfes	59
2.3.6. Anordnung der Meßfelder	59
2.3.7. Versuchsdurchführung	61

	<u>Seite</u>
2.3.7.1.	Versuchsübersicht 61
2.3.7.2.	Verlauf der Versuche 63
3.	ERGEBNISSE 65
3.1.	<u>Meßvorschrift für die Anwendung des</u> <u>"Münchener" Remissionsphotometers zur</u> <u>Erythem- und Pigmentmessung der Haut</u> 65
3.1.1.	Meßraum 65
3.1.2.	Inbetriebsetzung der Remissionsmeß- apparatur 65
3.1.3.	Auswahl der Meßfelder 66
3.1.4.	Kalibrierung 66
3.1.5.	Remissionsmessung 67
3.1.6.	Verhalten der Versuchsperson 67
3.1.7.	Auswertung des Schreiberdiagramms 67
3.2.	<u>Reliabilität, ermittelt am nicht beleb-</u> <u>ten Objekt (Resopal^R)</u> 68
3.3.	<u>Remissionsmessungen an Versuchspersonen</u> 69
3.3.1.	Folgemeßreihen an unbestrahlten Vergleichs- feldern 69
3.3.1.1.	Parameter der Häufigkeitsverteilung 69
3.3.1.2.	Häufigkeitsverteilung in graphischer Darstellung 72
3.3.2.	Remissionsmessungen an UV-bestrahlten Testfeldern 75
3.3.2.1.	Grünremission 75
3.3.2.2.	Rotremission 84
3.3.3.	Vergleich von Rot- und Grünremission un- bestrahlter Vergleichsfelder 100
3.3.4.	Beeinflussung der Grünremissionsmes- sungen durch den Auflagedruck des Meß- kopfes 104
4.	DISKUSSION 106
4.1.	<u>Präzision der Remissionsmeßapparatur</u> <u>unter Anwendung der Meßvorschrift</u> 106
4.2.	<u>Validität der Remissionsmessungen</u> 108

		<u>Seite</u>
4.3.	<u>Auflagedruck und Grünremission</u>	113
4.4.	<u>Meßvorschrift und Remissionsapparatur</u>	115
4.5.	<u>Verbesserungsvorschläge</u>	116
5.	ZUSAMMENFASSUNG	118
6.	LITERATURVERZEICHNIS	120

Abkürzungen

Ables	Ableseintervall
BE	Bestrahlungsende
D-Rem	Differenz von Remissionswerten
Fi 1	Filter $\lambda=546$ nm (Grünfilter)
Fi 2	Filter $\lambda=692$ nm (Rotfilter)
Geß	Gesäß
Hafi (Strahler 1)	UV-Strahler "Höhensonne" Hafi 500
Kol	Kolonie in Tabellen
Lokal	anatomische Lokalisation
mRü	mittlerer Rücken
NR	Nachtruhe
oRü	oberer Rücken
Rem	Remission
Remipho	Remissionsphotometer
s	Standardabweichung
Se	Selen
MgO	Magnesiumoxid
Solar (Strahler 2)	UV-Strahler Solarium Hanau de Luxe
T-Bestr	Bestrahlungsdauer
$\bar{U}$ Meß-Standard	bei der Remissionsmessung des Meß- Standards am Voltmeter abgelesene Spannung U
$\bar{U}$ Meßobjekt	bei der Remissionsmessung eines Meßobjektes am Voltmeter abgele- sene Spannung U
$\bar{U}$ Schwarz-Standard	bei der Remissionsmessung des Schwarz-Standards am Voltmeter abgelesene Spannung U
UV	ultraviolett
UVA (Strahler 3)	UV-Strahler Typ Z4 Hanau
uRü	unterer Rücken
VK	Variationskoeffizient
VP	Versuchsperson
VP 1	VP Hausl
VP 2	VP Fleck

VP 3
VP 4
VP 5
VP 18

$\bar{x}$

VP Scheder
VP Nutzinger
VP Meli
VP Hiergeist
arithmetisches Mittel der
Einzelmeßwerte

1. EINLEITUNG

1.1. Vorbemerkung

Noch um die Jahrhundertwende bis in die zwanziger Jahre hinein achtete man in den vornehmeren Kreisen der Mittel- und Oberschicht auf eine Gesichtsfarbe frei von Sonnenbräune. Dadurch wollte man sich nicht zuletzt von den Leuten des gemeinen Landvolkes unterscheiden, deren sonnenverbrannte Gesichter gezeichnet waren von Arbeit im Freien, Sonne, Wind und Wetter ausgesetzt.

In den letzten drei Jahrzehnten kehrte sich das Schönheitsideal um: Der Parasol hat seinen letzten Platz im Museum gefunden. Dem Image des modernen, sportlichen, dynamischen und freizeitbewußten Typus der Gegenwart ist eine blasse Haut abträglich. Der Chic verlangt nach Bräune, die sich möglichst streifenlos über das gesamte Integument erstreckt. Um dieses Ziel zu erreichen, gaben nach Schätzungen der Stiftung WARENTEST (76) die Bürger der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1981 rund 100 Millionen Mark für die Bräunung mittels künstlicher UV-Strahler aus. Ohne Vollständigkeit zu beanspruchen, sind in einer Marktübersicht von Stiftung WARENTEST (76) nicht weniger als 194 verschiedene Heimsolarien aufgeführt. Dabei handelt es sich bei diesen Geräten der neuen Generation überwiegend um Quecksilber-Niederdruckstrahler mit einem hohen Anteil an UV-A, von denen die Herstellerfirmen werbewirksam eine Bräunung ohne vorausgehenden Sonnenbrand versprechen.

Angesichts dieser Zahlen sind Forschungen über mögliche Langzeitwirkungen - davon seien hier die Kanzerogenität sowie die vorzeitige Hautalterung genannt - von dringlicher Aktualität.

Außerdem müssen die Hersteller zu Dosisempfehlungen kommen, die zur Anwendungssicherheit beitragen. Auch übervorsichtige Dosisempfehlungen, die nach KLEINSCHMIDT (34) häufig von den Heimsolarien-Herstellern gegeben werden, können den Benutzer gefährden, wenn sich dieser zu einer eigenmächtigen

gen Dosiserhöhung veranlaßt sieht. Ohne Kenntnis der Erythem- und Pigmentschwelle aber ist eine sinnvolle Dosisempfehlung nicht erstellbar. Unter diesem Gesichtspunkt möge diese Arbeit über "ein photometrisches Verfahren zur Messung von Erythem und Pigment der Haut" ein Beitrag sein, der einem der Grundsätze ärztlichen Handelns dient: "Nil nocere salus aegrotorum suprema lex!" (Nicht schaden ist das oberste Gesetz jeder Therapie).

1.2. Erythem, Pigmentierung und deren Bestimmung durch photometrische Remissionsmessungen an der Haut

1.2.1. Begriffsklärung

1.2.1.1. Definition von Reflexion und Remission

a) Reflexion

Unter Reflexionsvermögen wird das Verhältnis der reflektierten Energie zur auffallenden Energie bzw. des zurückgeworfenen Strahlungsflusses zum auffallenden Strahlungsfluß verstanden. Soweit es sich um spiegelnde und diffuse Reflexion handelt, wird der Ausdruck "absolutes Reflexionsvermögen" gebraucht (vergl. MAYER u. SEITZ; 45).

b) Remission

Der spektrale Remissionsgrad β nach DIN 5033 ist definiert als der Quotient der spektralen Leuchtdichte der betrachteten Meßprobe zu der spektralen Leuchtdichte einer diffus abstrahlenden Normalfläche mit dem Reflexionsgrad 1 und wird in Remissionsprozent angegeben (vergl. SCHULZ u. BOHNDORF; 63).

c) Verwendung der Begriffe in der Literatur

In der älteren Literatur wird hauptsächlich vom Begriff "Reflexion" Gebrauch gemacht. PFLEIDERER (55) weist darauf hin, daß für die hier relevanten Meßverfahren der Begriff "Remission" definiert werden muß als "das prozentuale Verhältnis der diffusen Rückstrahlungen von Meßfläche und Standardfläche (unter denselben geometrischen Verhältnissen z.B. hinsichtlich der Anordnung von Lichtquelle, Meßfläche und Empfänger)". In der jüngeren Literatur wird dementspre-

chend nur mehr der Begriff "Remission" verwendet.

1.2.1.2. Definition von Erythem

Die medizinische Terminologie ordnet dem Phänomen der Hautrötung den Begriff Erythem zu. Dabei meint der Begriff Erythem eine entzündliche Rötung der Haut, umschrieben oder diffus, bedingt durch Hyperämie (nach ZETKIN, KÜHTZ u. FICHTEL; 81).

Die Rötung der Haut als vasomotorisches Symptom, z.B. im Rahmen der Temperaturregulation oder psychogener Art fällt nicht unter den Begriff des Erythems.

Für unsere weiteren Betrachtungen ist das Erythem als Symptom der Lichtentzündung (WISKEMANN; 78) von Interesse, eine Hauterkrankung, die in der Umgangssprache als Sonnenbrand bezeichnet wird und nach NASEMANN u. SAUERBREY (49) in der Dermatologie unter den synonym verwendeten Begriffen Dermatitis solaris, Dermatitis photoelektrika und Erythema solare geführt wird.

1.2.1.3. Definition von Pigmentierung

Nach ZETKIN, KÜHTZ u. FICHTEL (81) wird in der Medizin unter Hautpigmentierung im allgemeinen die Eigenfarbe von Zellen und Geweben verstanden. Diese Eigenfarbe resultiert aus Farbstoffen sowohl körpereigener als auch körperfremder Herkunft. Letztere können entweder exogen oder hämatogen in die Haut gelangen. NASEMANN und SAUERBREY (49) bezeichnen Melanin als das eigentliche Hautpigment.

1.2.2. Erythem und Pigmentierung als Folge von Strahlen- einwirkung auf die Haut

1.2.2.1. Erythem und Pigmentierung als "Nebenwirkung"

Die Heliotherapie wurde in systematischer Form um 1900 von den Schweizer Ärzten BERNHARD u. ROLLIER (58) zur Behandlung des Lupus vulgaris, aber auch der Knochen- und Gelenktuberkulose eingeführt. Die Bakterizidie des ultravioletten Anteiles der Höhensonne lenkte die Aufmerksamkeit auf die ultraviolette Strahlung, um deren Anwendung zur Therapie des

Lupus vulgaris sich FINSSEN (16) große Verdienste erwarb. Im Rahmen dieser therapeutischen Anwendung ultravioletter Strahlen, aber auch kurzwelliger Strahlen wie Grenz- oder Röntgenstrahlen hat das begleitende Auftreten von Hauterythem und Hautpigmentierung als beobachtete und zu beachtende Nebenwirkung Bedeutung.

1.2.2.2. Erythem und Pigmentierung als Meßparameter

Bei Untersuchungen der Sonnenstrahlung, aber auch bei der Anwendung von künstlichen Strahlungsquellen, traten die Beurteilung und die Quantifizierung der aufgetretenen Veränderung von Hautrötung und Hautpigmentierung in den Vordergrund. JÜNGLING (32) berichtet 1916 über Versuche, die er mit dem Licht der Sonne, teils ungefiltert, teils durch Fensterglas gefiltert, und mit der Quecksilberlampe vornahm. Dabei stellte er fest, daß das Ultraviolett der Sonne umso stärker Hauterytheme hervorruft, je kurzwelliger es ist. HAUSSER u. VAHLE (22) stellten 1922 eine Zusammenfassung der physikalischen Grundlagen der Strahlung an den Anfang ihrer Forschungen. Sie untersuchten die Wirkung der einzelnen Wellenlängen hinsichtlich der Erythem- und Pigmenterzeugung. Die Ergebnisse ihrer Versuche über die Erythem-minimaldosis, die Erythemwirksamkeit der Strahlung in Abhängigkeit von der Wellenlänge und die Zusammenhänge zwischen Erythem- und Pigmentbildung waren richtungweisend für die weitere Erforschung der Strahlenwirkung auf die Haut. Als Meßparameter werden Erythem- und Pigmentmessungen beispielsweise vorgenommen zur Untersuchung von Lichtschuttmitteln (TRONNIER; 71), bei vergleichenden Untersuchungen von Ultraviolett-, Röntgen- und Grenzstrahlen hinsichtlich ihrer Hautwirkungen (HELMKE; 24), bei der Beurteilung von UV-Strahlern und Dosisvorschriften (KLEINSCHMIDT, SCHNIZER u. KLEINSCHMIDT; 34). Gerade das letzte Beispiel scheint an Bedeutung zu gewinnen: 1981 war nach einer Schätzung der Stiftung WARENTTEST (76) in 200.000 Haushalten der Bundesrepublik Deutschland ein sogenanntes Heimsolarium anzu-

treffen, wobei mit einem weiteren jährlichen Zuwachs von 40.000 Geräten zur privaten Nutzung gerechnet wird.

1.2.2.3. Erythem und Pigmentierung als primärer Gegenstand medizinisch wissenschaftlicher Forschung
1927 stellten SCHALL u. ALIUS (61) den Erythemablauf als Reaktion der menschlichen Haut in den Mittelpunkt ihrer Versuche. Sie untersuchten die Latenzzeit zwischen Bestrahlungsende und Rötungsbeginn, den zeitlichen Ablauf des Erythems als Rötungskurve, Zusammenhänge zwischen Hautbeschaffenheit und Rötungsablauf und die lokale Empfindlichkeit verschiedener Hautbezirke. Die Intensität der Erythem-Reaktion der Haut in Abhängigkeit von der anatomischen Lokalisation ist 40 Jahre später eingehend von OLSON, SAYRE u. EVERETT (51) beschrieben worden. MIESCHER u. MINDER (48), HENSCHKE u. SCHULZE (26) und WILLIS, KLIGMAN u. EPSTEIN (77) stellten histologische Untersuchungen über die durch langwelliges Ultraviolett hervorgerufene Pigmentdunkelung an. HENSCHKE u. SCHULZE (25, 27) erweiterten die von SCHALL u. ALIUS (61) unternommene Untersuchung des Erythems auf die Pigmenterscheinungen. Die der Erythem- und Pigmentbildung zugrundeliegenden biochemischen Prozesse wurden von JOHNSON u. MIER (30), JOHNSON, MANDELL u. DANIELS (31), LANG (39) und WISKEMANN (78, 79) dargestellt. Dort finden wir auch eine ausführliche Literaturübersicht über weitere biochemische und physiologische Untersuchung der Hautrötung und Hautpigmentierung als Folge von Strahlenexposition. TRONNIER (74) berichtet über den Einfluß der Hornschicht auf die Lichtreaktion der menschlichen Haut, LOGAN u. WILHELM (42, 43) erläutern die Entzündungsreaktion nach UV-Bestrahlung. WILLIS, KLIGMAN u. EPSTEIN (77) nehmen zur Diskussion über die Schutzwirkung des Pigmentes Stellung und verneinen eine photoprotektive Wirkung der direkten Pigmentierung. Einen Überblick über durch Sonnenstrahlung bedingte oder als Kofaktor ausgelöste Krankheiten bietet KNOX (36).

1.2.3. Beurteilung der Hautfarbe hinsichtlich des Erythem- und Pigmentierungsgrades

1.2.3.1. Subjektive Beobachtungsverfahren

a) Beschreibung der Reaktion

Der Vorteil von subjektiven Beobachtungsverfahren liegt darin, daß ohne apparativen Aufwand die Beurteilung erfolgen kann. Allerdings ist leicht einzusehen, daß die Unterteilung des Erythem- und Pigmentierungsgrades, die sich an die Fachterminologie der Dermatologie zu halten hätte, sehr grob und nicht objektivierbar ausfallen würde. JÜNGLING (32) bedient sich dieses Beobachtungsverfahrens und unterscheidet dementsprechend nur drei Erythemgrade: blaßrosa, mittelkräftiges Rot und flammendes Hochrot. Pigmentunterscheidungsbegriffe finden wir bei JÜNGLING nicht. STUTZER (69) unterscheidet 7 Reaktionsstufen ohne technische Hilfsmittel.

b) Vergleich mit Grau- oder Farbwerten

HAUSSER u. VAHLE (22) sowie DORNO (13) bedienen sich bereits eines Hilfsmittels, indem sie sovieler leicht rosa gefärbte Gelatinefilter auf die unbestrahlte Haut legen, bis kein Unterschied mehr zwischen bestrahlter und unbestrahlter Haut erkennbar ist. Nach der Anzahl der benötigten Filter wird dann das Erythem quantifiziert. PFLEIDERER (52) gibt eine Methode an, bei der eine durchlöchernte Graustufenskala mit photometrisch bekannten Reflexionswerten im Roten und Grünen auf die Haut aufgelegt wird. Mittels einer Brille mit einem roten und grünen Glas erfolgt für den Betrachter die Umformung des farbigen Kontrastes in einen unbunten.

1.2.3.2. Photographische Methoden

Photographische Methoden haben den Vorteil der Dokumentationsfähigkeit, verlieren aber letztlich an Aussagekraft wegen der Unmöglichkeit, die Aufnahmen bei gleicher Helligkeit bzw. entsprechender Belichtung mit Filmen identischer Empfindlichkeit und identischer Entwicklung durchführen zu können.

Eine photographisch-photometrische Methode wird von SCHULTZE (64) angegeben: Das Hautmeßfeld wird zusammen mit 9 Vergleichsspektren von Magnesiumoxid photographiert, die photographische Schwärzung ausphotometriert. Anschließend wird anhand der Meßergebnisse von Haut- und Vergleichsflächen die Remission errechnet.

1.2.3.3. Photometrische Meßverfahren

1.2.3.3.1. Photometrische Meßverfahren ohne spektrale Selektion

Das Phlogistometer nach Bürger:

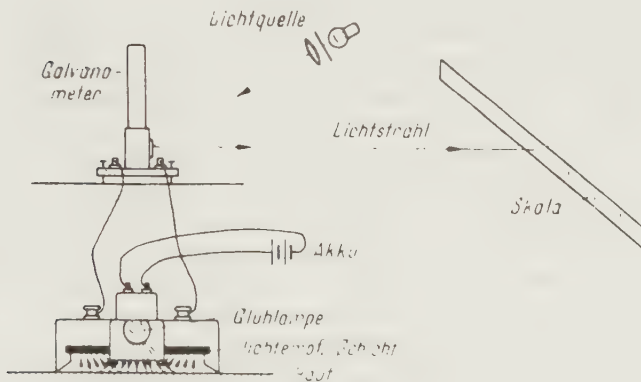


Abb. 1: Phlogistometer nach Bürger (aus: Z. Rheumaforsch. 16 (1957), TRONNIER (73))

Das Meßinstrument besteht aus einer Lichtquelle, einem Photoelement und einem Spiegelgalvanometer mit einer entsprechenden Skala als Registriereinrichtung für den Photostrom. Mangels eines Filters wird im gesamten Spektralbereich gemessen, der sowohl durch die Lampenstrahlung als

auch den Empfindlichkeitsbereich des Photoelementes erfaßt wird. Zum sichtbaren Bereich wird bei dieser Gerätekonstruktion auch der infrarote Spektralbereich miterfaßt.

1.2.3.3.2. Photometrische Meßverfahren mit spektral-zerlegtem Licht

DORNO (13) zählt zu den ersten, die Remissionsmessungen mit spektral-zerlegtem Licht vornahmen. Die Messung erfolgte, indem er unter Verwendung eines König'schen Spektralphotometers die Remission der Haut mit der einer mit Magnesiumoxid beschichteten Platte verglich. Ebenfalls mit spektral-zerlegtem Licht arbeiteten BRUNSTING u. SHEARD (82), GOLD-ZIEHER u. Mitarb. (20), EDWARDS u. DUNTLEY (14), KUPPENHEIM u. HEER (38), JANSEN (28). Näher soll die von BODE (6, 7) angewandte Remissionsmeßmethode vorgestellt werden: Die Meßapparatur besteht aus einer 10 Ampere Bogenlampe, einem Monochromator und einem Zeiss'schen Stufenphotometer (modifiziertes Pulfrichphotometer). Sowohl die zu messende Hautfläche als auch eine Barytweiß-Platte werden mit dem aus dem Monochromator kommenden Licht beleuchtet. Die von der Barytweiß-Platte und von der Hautfläche remittierten Lichtströme gelangen separat in das Stufenphotometer. Der Beobachter blendet durch Trommeldrehung am Photometer das von der Barytweiß-Platte remittierte Licht soweit ab, bis es dieselbe Helligkeit hat wie das von der Haut remittierte Licht. Die Remission wird direkt in Prozent abgelesen. Die Schwachstellen der Bode'schen Meßmethode liegen einerseits in der Tatsache begründet, daß es im subjektiven Ermessen des Beobachters bleibt, wann gleiche Helligkeitsstufen von Meß- und Vergleichsstrahlung erreicht sind. Andererseits kann die Meßvorrichtung nicht auf die Meßstelle eingestellt werden. Allein durch die Lagerung der Versuchsperson ist es möglich, die gewünschten Meßfelder zur Meßebene des Gerätes zu bringen.

1.2.3.3.3. Photometrische Meßverfahren zur Messung in
mehreren Spektralbereichen mit gefiltertem Licht
a) Pulfrichphotometer und Ulbricht-Kugel

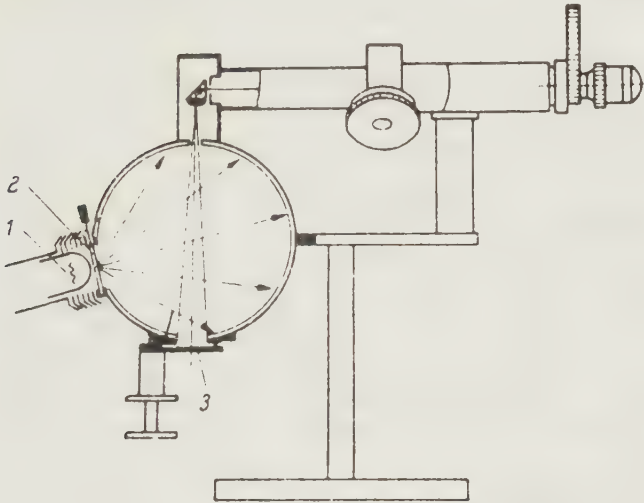


Abb. 2: Pulfrichphotometer für die Remissionsmessungen
an der Haut nach SCHREIBER (62)

Das schon von BODE (6, 7) verwendete Pulfrichphotometer fand, gekoppelt mit einer Ulbricht-Kugel, bei SCHREIBER (62), BAUDACH u. SCHREIBER (3) und OJEDA (50) Verwendung: Die Kugellinnenseite wird durch eine Glühlampe beleuchtet und soll zu einer diffusen Belichtung der zu messenden Hautstelle führen. Eine mit Barytweiß (BaSO_4) gestrichene Fläche der Kugellinnenseite dient als Vergleichsstelle. Der Einstrahlungswinkel (Winkel zwischen Strahlengang und Haut) beträgt 45° , der Beobachtungswinkel (Winkel zwischen

Beobachtungsrichtung und Haut) beträgt 90° . Mit dem Pulfrich-photometer werden Vergleichs- und Meßstelle fokussiert und, wie von BODE (7) beschrieben, die Remission ermittelt.

b) Photoelektrischer Erythem- und Pigmentmesser nach LANGE u. HENSCHKE (25)

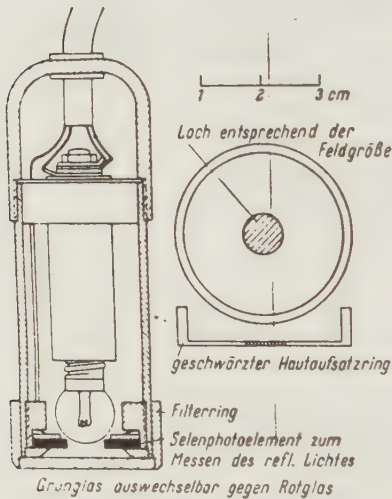


Abb. 3: Erythem-Meßgerät nach LANGE und HENSCHKE, aus HENSCHKE u. SCHULZE (25)

Die Ähnlichkeit des Lange'schen Remissionsmeßgerätes mit dem Phlogistometer nach Bürger ist unverkennbar. Als Lichtquelle dient eine 2 Volt Glühlampe (keine Leistungsangabe). Die Messung des remittierten Lichts erfolgt durch ein Selen-Photoelement, kombiniert mit einem Multiflexgalvanometer mit einer angegebenen Empfindlichkeit von 10^{-8} Ampere pro Skalenteil. Der Einstrahlungswinkel sowie der Beobachtungswinkel betragen 90° . Es wird eine Reproduzierbarkeit mit einem Fehler von $1/2\%$ angegeben. Zur Eichung werden Grauf Flächen mit 20 - 50 % Remission verwendet.

PFLEIDERER (54) sieht bei der Verwendung dieses Gerätes eine "Inkaufnahme sehr beträchtlicher Fehlerquellen", ohne daß er diese näher bezeichnet. In der Tat scheint die angegebene Reproduzierbarkeit von $\pm 1/2 \%$ sehr zweifelhaft, zumal später entwickelte Remissionsphotometer mit wesentlich aufwendigerem elektrischen Aufbau nur Reliabilitäten zwischen 1 - 2 % aufzuweisen haben.

c) Das "Göttinger" Gerät von TRONNIER u. WAGENER (75)

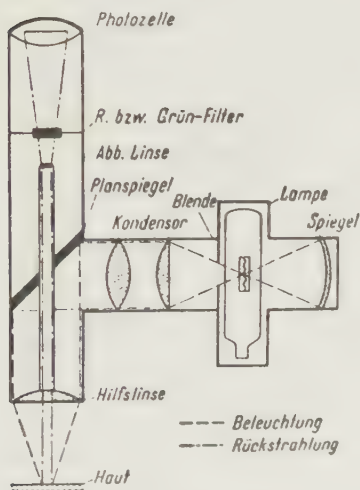


Abb. 4: Das "Göttinger" Erythemmeßgerät nach TRONNIER u. WAGENER (75)

Das "Göttinger" Gerät zeichnet sich wie das Lange'sche Remissionsphotometer durch eine gegenüber der Bode'schen Meßapparatur gute Handlichkeit aus. Es wurde mit zwei austauschbaren Lampen/Filterkombinationen ausgeführt:

Kombination 1: Cadmiumlampe 1,5 A, breitbandige Selektivfilter

Kombination 2: Glühlampe 20 V/25 W, schmalbandige Interferenzfilter (Schott) für $\lambda=500 \text{ nm}$ und $\lambda=630 \text{ nm}$.

Zur Lichtmessung entschied man sich für eine Photozelle Typ 90 - 320 TMMA/GCsK. Die Verstärkerkonstruktion erlaubt eine Umschaltung der Instrumentenempfindlichkeit, eine Nullpunktnacheichung und eine Nacheichung der Maximalausschläge getrennt für beide Spektralbereiche. In der ersten Ausführung betrug der Einstrahlungs- und Beobachtungswinkel 90° , später wurde der Einstrahlungswinkel auf $60 - 75^\circ$ reduziert. Der Meßfehler wird mit 1 % angegeben.

d) Das Elrepho

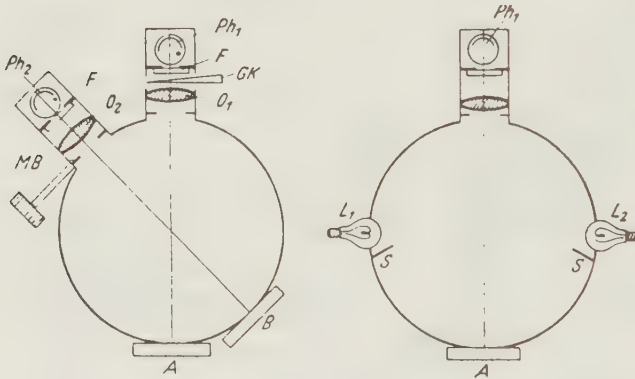


Abb. 5: Schematische Darstellung in 2 Ebenen der Ulbricht'schen Kugel im lichtelektrischen Remissionsphotometer "Elrepho", nach HEITE u. WEBER (23)

Das von der Firma Carl Zeiss, Oberkochen, zur Remissionsmessung entwickelte elektrische Remissionsmeßgerät "Elrepho" wurde eingehend von HEITE u. WEBER (23) unter klinischen Bedingungen geprüft.

Das Meßgerät arbeitet nach dem Prinzip der Ulbricht'schen Photometerkugel (siehe Abb. 5). Die Beleuchtung der Kugel mit einem Durchmesser von 15 cm erfolgt durch zwei Glüh-

lampen L_1 und L_2 . Der Einstrahlungswinkel beträgt $0 - 90^\circ$, der Beobachtungswinkel 90° . Bei Öffnung A werden nacheinander ein geeichter Weiß-Standard bzw. die zu messende Hautfläche angelegt. Bei Öffnung B liegt ständig die weiße Vergleichsfläche der Kugel an. Die Photozelle Ph_1 mißt A, die Photozelle Ph_2 mißt B. Bei ungleicher Belichtung von Ph_1 und Ph_2 treten Differenzströme auf, die nach Verstärkung durch eine Elektrometerröhre in einem Nullinstrument zur Anzeige gelangen. Die Eichung erfolgt durch Anlegen des Weiß-Standards (MgO) und durch Einschieben oder Ausziehen des Graukeils, bis kein Differenzstrom mehr auftritt. Beim Meßvorgang wird die Meßblende solange geschlossen, bis ebenfalls kein Differenzstrom mehr auftritt.

Anstelle eines Weiß-Standards kann auch ein Meß-Standard zur Kalibrierung verwendet werden.

Bezüglich der Reliabilität wird ein Variationskoeffizient zwischen 1 - 2 % angegeben (HEITE u. WEBER; 23).

Beim Vergleich des "Göttinger" Erythem-Meßgerätes mit dem Elrepho sieht TRONNIER (73) bei ersterem Vorteile bezüglich der Einstellbarkeit (Handhabung), im Fehlen der Wärmestrahlung und in der geringen Meßfeldgröße. Das Elrepho aber übertreffe das "Göttinger" Gerät in der elektrischen Stabilität, der optischen Anordnung und in der Schnelligkeit des Meßvorganges.

e) Das 45° -Remissionsphotometer nach SCHULZ u. BOHNDORF SCHULZ u. BOHNDORF (63) entscheiden sich untersuchend, bei welchem Strahlengang Glanzlichter weitgehend unterdrückt bzw. vermieden werden, für einen Einstrahlungswinkel von 45° und einen Beobachtungswinkel von 90° (vergl. Abb. 7) und lösen diese Aufgabe elegant durch die winkelige Anordnung der Beleuchtungs- und der Meßachse in einem Winkel von 45° .

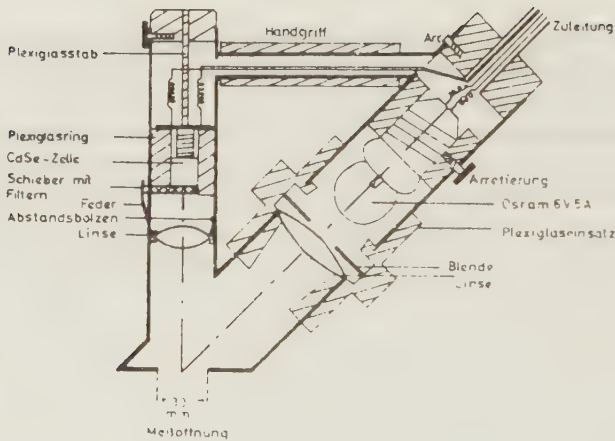


Abb. 6: Schemazeichnung des Meßkopfes des 45°-Remissionsphotometers nach SCHULZ u. BOHNDORF (3)

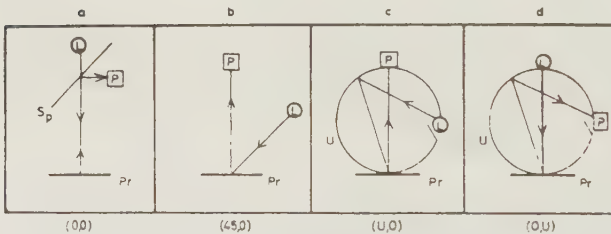


Abb. 7: Beleuchtungs- und Beobachtungsarten bei Remissionsphotometern.

L = Lampe, P = photoelektronischer Empfängerbaustein, Pr = Probe, Sp = halbdurchlässiger Spiegel.

Die Zahlen in Klammern bedeuten Beleuchtungs- und Beobachtungswinkel gegen die Flächennormale der Meßfläche; U kennzeichnet die besonderen Verhältnisse bei Verwendung einer Ulbrichtkugel. a) Erythem-Meßgeräte nach BODE, HELMKE, LANGE u. HENSCHKE, "Göttinger" Gerät; b) 45°-Remissionsphotometer; c) Elrepho; d) Leukometer von VEB Carl Zeiss, Jena, nach SCHULZ u. BOHNDORF (63)

Der remittierte Teil des Lichtes der 6 V 5 A Osram Wolfram-Wendeldrahtlampe trifft auf einen CdSe-Photo-widerstand. Der Photowiderstand ist im Meßkreis mit Widerständen in Form einer Wheatstone'schen Brücke zusammen-geschaltet. Ein in der Brücke liegendes Mikro-Amperemeter als Nullinstrument gestattet den Abgleich durch einen stufenweise regelbaren Grobwiderstand und dem 1 k Ohm Helipot. Je nach Helipot-Stellung wird in einer Eichkurve der Remissionsgrad in % abgelesen.

Als mittlerer Fehler der Einzelmessung wird ein Wert von 0,25 Remissions-% angegeben.

Das Meßgerät besticht durch seine Handlichkeit, die Einfachheit der Aufbau- und Schaltprinzipien und die Verwendung eines empfindlichen Photohalbleiters.

1.2.3.4. Zur Problematik der Wahl des Spektralbereichs
Die Möglichkeit, durch die Wahl eines bestimmten Filters oder durch eine entsprechende Monochromatoreinstellung in einem ganz bestimmten Spektralbereich Remissionsmessungen durchführen zu können, verlangt eine Entscheidung des Anwenders der Remissionsmeßmethode, in welchen Wellenlängen er die Remission der Haut bestimmen will. In breitem Raum wurde die Frage diskutiert, mit welchen Wellenlängen spezifisch das Erythem bzw. die Pigmentierung meßbar erfaßt werden könnte. Weiter wurde diskutiert, ob die spezifische Bestimmung des Erythems bzw. der Pigmentierung mit e i n e r Wellenlänge überhaupt möglich ist.

Den von BODE (7) durchgeführten spektralphotometrischen Versuchen müssen die größte praktische Bedeutung für die Erythem- und Pigmentmessung zugesprochen werden (Abb. 8). Das Ergebnis, daß einerseits bei Ausbildung eines Erythems die Remission im Wellenlängenbereich $\lambda < 600 \text{ nm}$ abnimmt und der Wellenlängenbereich $\lambda > 600 \text{ nm}$ erst bei der Ausbildung einer Hyperpigmentierung ebenfalls geschwächt wird, daß andererseits die Maxima des Rückstrahlungsvermögens

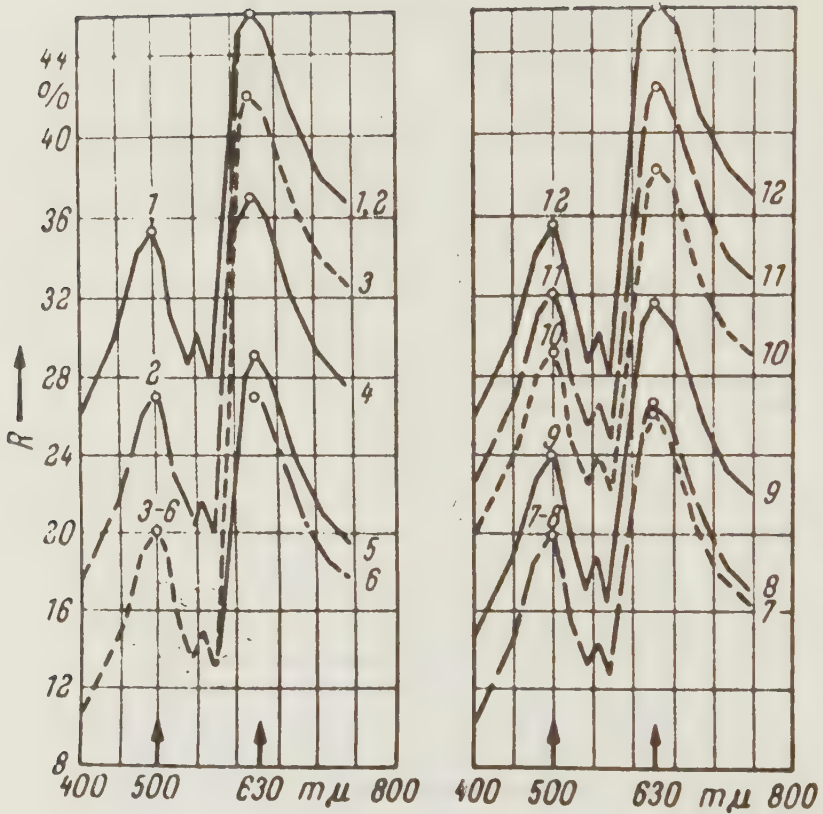


Abb. 8: Erythem- und Pigmentierungsablauf, spektralphoto-
metrisch dargestellt, nach BODE (7).
Die Kurven sind in der Reihenfolge ihrer Beziffe-
rung zu lesen: Kurve 1 - normale Ausgangsfarbe vor
der Bestrahlung; Kurve 12 - wieder normal gewordene
Hautfarbe nach Ablauf der Reaktion

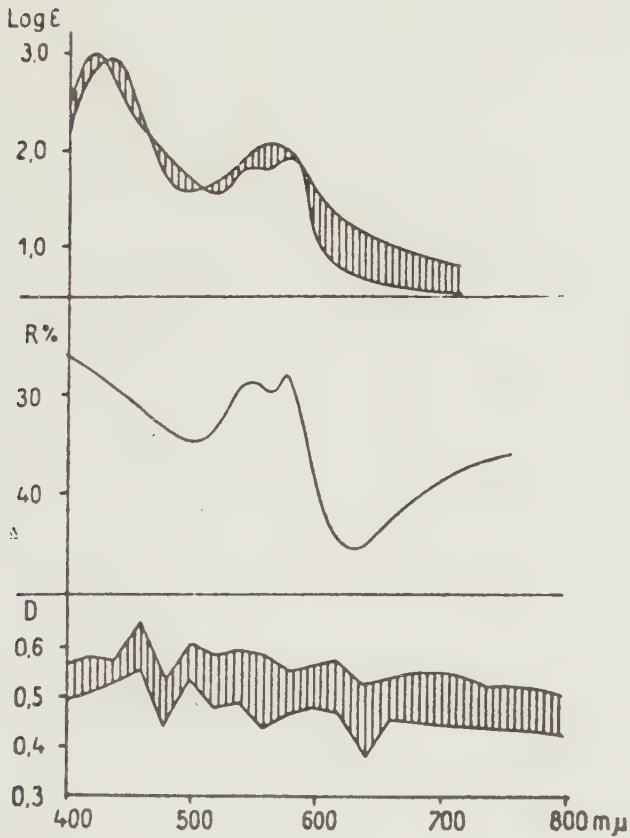


Abb. 9: Obere Kurven: Absorptionsspektren für Hämoglobin und Oxyhämoglobin
Mittlere Kurve: Reflektionsspektrum der Haut
Untere Kurve: Optische Dichte der Haut
- nach TRONNIER (70) -

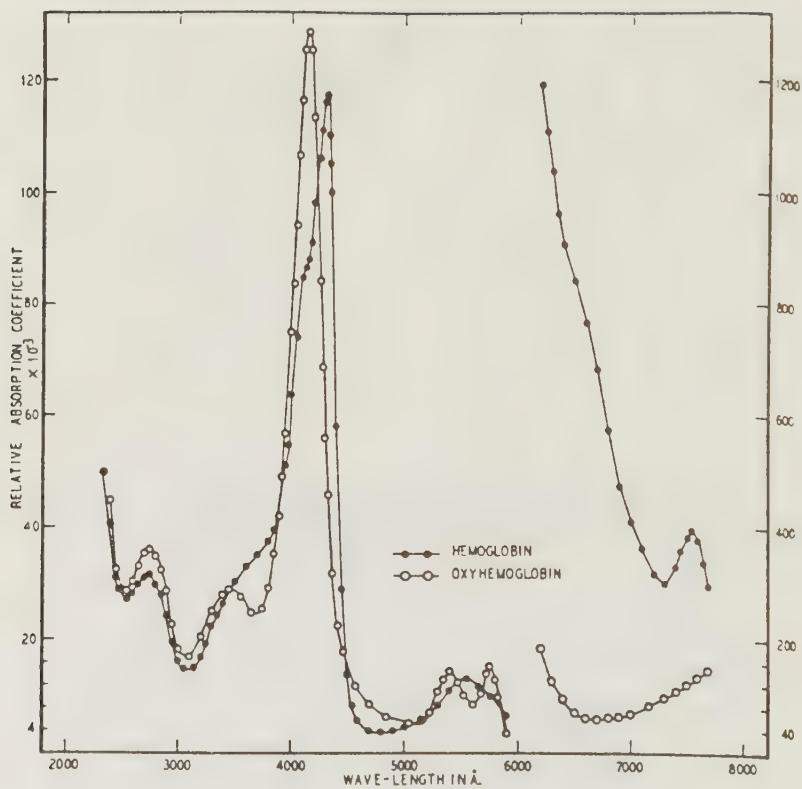


Abb. 10: Absorptionsbanden von Hb und Oxy-Hb nach
SIDWELL u. Mitarb. (66)

der Haut bei $\lambda = 500$ nm und $\lambda = 630$ nm liegen, führten dazu, daß lange Zeit zur Erythem- und Pigmentmessung praktisch nur im grünen und roten Anteil des Spektrums gemessen wurde (TRONNIER; 73). Außerdem fanden die Absorptionskurven von Hämoglobin bzw. Oxyhämoglobin und die Kurven der optischen Dichte der Haut Berücksichtigung bei der Auswahl der Filter (Vergl. dazu Abb. 9 und Abb. 10). Je nach Gewichtung der verschiedenen Faktoren, die das Remissionsspektrum der menschlichen Haut beeinflussen, wurden verschiedene Schlüsse bei der Auswahl der Filter gezogen: BODE u. WITTE (8) konzentrieren sich bei der Untersuchung des Remissionskurvenverlaufs infolge von Durchblutungsänderung und Pigmentierung auf die Wellenlängen $\lambda = 500$ nm und $\lambda = 630$ nm. Die Remissionsänderungen im Bereich von $\lambda = 500$ nm werden sowohl auf die Veränderung des Durchblutungsgrades als auch der Pigmentierungsstärke zurückgeführt, die Bewegungen des Remissionsmaximus bei $\lambda = 630$ nm liefern nach BODE u. WITTE (8) ein Bild der Zu- und Abnahme des Pigmentes. HENSCHKE u. SCHULZE (25) sowie BRETT u. THEISMANN (9) verwenden ebenfalls Filter mit den Wellenlängen $\lambda = 500$ nm und $\lambda = 630$ nm. HEITE u. WEBER (23) wählen in Ermangelung eines Grünfilters $\lambda = 500$ nm einen Filter mit $\lambda = 530$ nm zur Erythemmessung und Filter mit $\lambda = 620$ nm und $\lambda = 700$ nm zur Pigmentmessung.

Einen Überblick über die von verschiedenen Autoren verwendeten Wellenlängen gibt Tab. 1 (S. 20).

Die Befürworter der Verwendung eines blaugrünen Filters von $\lambda = 500$ nm zur Bestimmung des Erythems verweisen auf die Tatsache, daß bei $\lambda = 500$ nm Oxy-Hb und Hb die gleiche Durchlässigkeit haben und durch verschiedene Sauerstoffbeladung vorgetäuschte Erythemveränderungen dadurch ausgeschlossen werden (TRONNIER; 71). Außerdem falle dieser Wellenlängenbereich mit einem der beiden Remissionsmaxima der Haut zusammen. Abb. 9 läßt zusätzlich noch das Zusammentreffen dieser Remissionsmaxima mit zwei Bereichen geringer optischer Dichte erkennen, die TRONNIER (70) für Remissions-

untersuchungen, die Blutfülle betreffend, vom Standpunkt der Transmission durch die Haut ebenso wie aus rein meßtechnischen Erwägungen heraus als besonders günstig beurteilt.

Autor	Wellenlänge(nm)	Filterart
BACHEM (2)	keine Angabe, vermutlich grün	
BAUDACH/SCHREIBER (3)	403 - 696	Interferenzf.
BÜTTNER (11)	480-550,630- 800	breitband. Filterkomb.
HEITE/WEBER (23)	420,530(Ery.- Mes.),620,700, 800,900,1000,	keine Angabe
HELMKE (24)	530,660	keine Angabe
HENSCHKE/SCHULZE (25)	500,630	keine Angabe
LANGEN (40)	Büttner-Gerät und Filter	
OJEDA (50)	575	keine Angabe
BRETT/THEISMANN (9)	500,548,565, 578,630	keine Angabe
JANSEN (28)	551,600	Spektralphoto- meter
PFLEIDERER (53)	500,550,630	keine Angabe
SCHULZ/BOHNDORF (63)	500,550,700	Interferenzf.
TRONNIER (71)	500	
TRONNIER/WAGENER (75)	500,630	Interferenzf.

Tab. 1: Zusammenstellung der von verschiedenen Autoren zur Remissionsmessung verwendeten Wellenlängenbereiche

PFLEIDERER (54) plädiert für den Wellenlängenbereich um $\lambda = 550$ nm, weil dort "die stärksten Banden von Oxy-Hb und Hb liegen". Wie in Abb. 10 zu sehen ist, liegt wie bei $\lambda = 500$ nm gleichermaßen bei $\lambda = 546$ nm und $\lambda = 560$ nm eine Überschneidung des Absorptionskoeffizienten von Oxy-Hb und Hb vor, die oben angesprochene Gefahr der Messung der unterschiedlichen Sauerstoffbeladung ist somit ausgeschlossen.

Wie aus den Messungen von BODE (siehe Abb. 8) zu sehen ist, bleiben die Remissionswerte bei $\lambda = 500$ nm immer unter denjenigen bei $\lambda = 630$ nm. Auch TRONNIER (71) konnte zu einem Zeitpunkt, bei dem das Erythem bereits abgeklungen war und starke Pigmentierung bestand, nie niedrigere Meßwerte bei $\lambda = 630$ nm als bei $\lambda = 500$ nm messen. Diese Beobachtung veranlaßte ROTTIER (59) zu der Behauptung, daß das Erythem solange bestünde, wie auch die Pigmentierungszunahme anhält.

Die Rotremission betreffend wurde weniger die Diskussion über bestimmte Wellenlängen als über den Aussagewert der Rotremission als solcher geführt. BODE's Annahme, mit einem Filter der Wellenlänge $\lambda = 630$ nm das Pigment allein messen zu können, wurde vielfach in Frage gestellt. TRONNIER (71) konnte zeigen, daß es nach Anwendung von Nikotinsäurederivaten zur Ausbildung von Erythemen kommt, die ohne begleitende Pigmentierung in der Lage sind, eine Remissionsminderung im roten Spektralbereich zu bewirken.

Bei der Remissionsmessung durchquert der auf die Haut auftreffende Lichtstrahl mehrere optisch und anatomisch voneinander verschiedene Medien und wird dabei in jeweils unterschiedlichem Maße absorbiert und gestreut. Deshalb vertritt JANSEN (29) die Meinung, es sei dem jeweiligen optischen Remissionswert nicht anzusehen, in welchem Ausmaß und Verhältnis er durch die Absorption und Remission der unterschiedlichen Strukturen beeinflusst ist. STUTZER (69) ist die Reproduzierbarkeit der Resultate zu gering und verzichtet deshalb auf die Remissionsmethode überhaupt. TRONNIER (71) beschränkt sich auf Grünremissionsmessungen und ver-

sucht, Aussagen über die Pigmentierung dadurch zu gewinnen, indem er die Grünremission der ersten 4 Tage erythemspezifisch beurteilt und die Grünremission der darauf folgenden 4 Tage mehr der Pigmentierung zuordnet. Durch entsprechende mathematische Verknüpfungen dieser Ergebnisse versucht er dann Aussagen über die Pigment- und Erythemverteilung zu machen. BODE u. WITTE (8) hatten unter Einbeziehung des Absorptionsgesetzes auf der Grundlage der Remissionsmeßergebnisse bei $\lambda = 500 \text{ nm}$ und $\lambda = 630 \text{ nm}$ versucht, die Dicken der absorbierenden Blutschichten und die Pigmentmenge zu bestimmen und unter gesonderter Betrachtung des Erythem- und Pigmentierungsablaufes Aussagen über deren zeitlichen Verlauf zu treffen. Früher hatte BODE (7) den Quotienten der Remissionen bei $\lambda = 630 \text{ nm}$ und $\lambda = 500 \text{ nm}$ als Maß der Farbtonverschiebung, d.h. der Rötung, und die Summe der Remissionen bei $\lambda = 500 \text{ nm}$ und $\lambda = 630 \text{ nm}$ als Maß der Dunkelung, d.h. der Pigmentierung, verwendet. BACHEM (2) kritisiert das Vorgehen von BODE u. WITTE (8) als "eine mathematische Übersimplifizierung einer hoch komplexen Situation". Die Unterscheidung zwischen Erythem und Pigmentierung trifft BACHEM (2), indem er zur Bestimmung der Pigmentierung mittels einer durchsichtigen Scheibe das Erythem wegdrückt. Er bedient sich damit eines Verfahrens, das HENSCHKE u. SCHULZE (25, 26) zur groben Unterscheidung von Erythem und Pigmentierung angibt. PFLEIDERER (54) beurteilt allerdings Kompressionsversuche als zu fehlerhaft und nahm in diesem Zusammenhang Untersuchungen an Leichenhaut vor. Dabei kam er zu dem Ergebnis, daß die Grünminderung durch Pigment annähernd doppelt so groß ist wie die Rotminderung. PFLEIDERER (55) weist auf eine Fehlerquelle bei Rotremissionsmessungen hin, die darin besteht, daß in diesem Wellenlängenbereich Zyanose Pigment vortäuschen kann.

1.3. Problemstellung

1.3.1. Ausgangssituation bei Beginn der Arbeit

Ursprünglich sollte mit dieser Arbeit ein Wirkungsvergleich von Strahlern mit verschiedenem spektralen Anteil an UV mittels Remissionsmessungen durchgeführt werden. Eine Anzahl dies-

bezüglicher Versuche waren am Institut für med. Balneologie und Klimatologie bereits erfolgt (durch cand. med. SCHATZ) und sollten weitergeführt werden. Im folgenden näher beschriebene Unzulänglichkeiten der Remissionsmeßapparatur des Institutes ließen es uns zweckmäßig erscheinen, die ursprüngliche Zielrichtung der Arbeit zu verlassen und anstelle dessen eine Optimierung der Remissionsmeßapparatur und des Meßverfahrens zu verfolgen.

1.3.2. Verbesserungsbedürftige Unzulänglichkeiten der Remissionsapparatur

1.3.2.1. In früheren Arbeiten angeregte Verbesserungs-vorschläge

GEIGER (19) und RABANSER (56) hatten das von DIRNAGL entworfene und am Institut für med. Balneologie der Universität München gebaute Remissionsphotometer verwendet. In ihren Arbeiten weisen sie auf folgende Schwachstellen des Gerätes hin:

- a) zu hohe Auflagedrucke des Meßkopfes mit Folge, daß Erytheme weggedrückt werden können. Die Vermeidung dieses Fehlers hängt weitgehend von der manuellen Geschicklichkeit des Versuchsdurchführenden ab.
- b) Schattenbildung auf Grund von Hautunebenheiten.
- c) Falschlichteinfall.
- d) Ausbildung eines Wärmeerythems infolge langzeitigen Messens mit hohem Lampenstrom.
- e) Schwankungen im Galvanometerausschlag, als "Ermüdungserscheinungen" des Photoelementes bereits von LANGEN (40) am Büttner'schen Gerät beobachtet, führen zur Verringerung der Präzision und zwingen zu häufig vorzunehmenden und zeitraubenden Zwischeneichnungen.
- f) Rotremission wenig aussagekräftig.

GEIGER (19) regt an, die Registrierung der Ergebnisse mittels eines Schreibers durchzuführen.

1.3.2.2. Auswertungsergebnisse von bereits durchgeführten Versuchen

SCHATZ hatte, wie bereits erwähnt, Remissionsmessungen im Rahmen von UV-Bestrahlungs-Versuchen mit der von GEIGER (19) und RABANSER (56) verwendeten Remissionsmeßapparatur durchgeführt. Lediglich die breitbandigen Glasfilter mit Transmissionsmaxima bei ca. 490 - 530 nm und bei ca. 750 - 800 nm wurden gegen schmalbandige Interferenzfilter von Schott mit $\lambda = 546$ nm und $\lambda = 691$ nm ausgetauscht.

Bei der Beurteilung der Meßergebnisse zeigte sich die Meßanordnung vor allem für Messungen mit dem Filter $\lambda = 691$ nm als unzureichend (vergl. Tab. 2 und Abb. 43, 39, 40).

Tab. 2: Tabellarische Gegenüberstellung der Meßergebnisse der absoluten Rotremission von Meßfeldern der VP 18, korrespondierend zu den Abb. 39, 40, 43. Aufgeführt sind in

Teil a):

die durchschnittliche Differenz der Rotremission von UV-bestrahlten Testfeldern und unbestrahlten Vergleichsfeldern, ermittelt für die Zeiträume 0-30 h und 24-30 h, der höchste und niedrigste Remissionswert jedes Meßfeldes unter Angabe des Meßzeitpunktes, die Schwankungsbreite der Rotremissionswerte der einzelnen Meßfelder unter Berücksichtigung des gesamten Zeitverlaufes.

Teil b):

die Häufigkeit n von Einzelmessungen, in welcher die jeweils vorgegebene Größenzuordnung von den Differenzwerten der Rotremission des UV-bestrahlten Testfeldes und des unbestrahlten Vergleichsfeldes erfüllt wird unter Berücksichtigung verschiedener, jeweils angegebener Zeiträume im Zeitverlauf.

Teil c):

die maximale und minimale Schwankungsbreite der Differenz der Rotremission von UV-bestrahlten Testfeldern und den entsprechenden Vergleichsfeldern zu einem Meßzeitpunkt im Zeitverlauf unter Angabe des Meßzeitpunktes.

Beim Vergleich von D-Rem (0-30 h) mit D-Rem (24-30 h) fällt auf, daß in vier von sechs Fällen die D-Rem (24-30 h) einen kleineren Wert als die D-Rem (0-30 h) haben. Dies könnte als ein Hinweis auf die nach 24 h einsetzende indirekte Pigmentierung gedeutet werden. Die Aussagekraft dieses Vergleiches scheint jedoch fraglich, wenn wir die D-Rem im Zeitverlauf zur D-Rem zum Zeitpunkt 0 vergleichen: Im Zeitverlauf von 2-30 h finden wir bei P 9, P 10 und P 13 häufiger größere bzw. gleiche D-Rem Werte als zum Zeitpunkt 0, nur P 14 zeigt häufiger kleinere D-Rem Werte. Im Zeitverlauf von 24-30 h verändert sich zwar diese Relation etwas zugunsten der kleineren D-Rem Werte: Bei P 9 und P 10 halten sich gleichgroße und kleinere D-Rem Werte die Waage, bei P 13 und P 14 überwiegen schon die kleineren D-Rem Werte. Nicht plausibel erscheint der D-Rem Verlauf von P 13 und P 14 (siehe Abb. 39): Abhängig von der Bestrahlungsdauer wäre zu erwarten gewesen, daß P 13 kleinere D-Rem Werte aufweist als P 14. Das Gegenteil ist der Fall. Die D-Rem Werte von P 14 verhalten sich wie eine Erythemkurve, die von P 13 wie die eines nicht bestrahlten Meßfeldes. Die Grünremissionsmessungen (Abb. 35) zeigen aber, daß die Bestrahlung bei P 13 das weitaus stärkere Erythem bewirkte. Schließlich muß die Richtigkeit der Rotremissionsmessung als mangelhaft bezeichnet werden.

P 100, ein unbestrahltes Vergleichsfeld, weist eine max Rem von 78,00 % bei $T=8$ h und eine min Rem von 56,18 % bei $T=16$ h auf (siehe Abb. 43). Die Remission schwankt im Zeitverlauf um 21,82 %. Weder TRONNIER (71), noch PFLEIDERER (54), noch HEITE u. WEBER (23), noch DORNO (13) geben annähernd große Remissionsdifferenzen, verursacht durch eine Hyperpigmentierung nach UV-Bestrahlung, an. Dabei handelt es sich bei P 100, wie erwähnt, um ein unbestrahltes Hautareal.

Bemerkenswert erscheinen auch die im Zeitverlauf stark schwankenden Remissionsdifferenzen der verschiedenen Meßfelder untereinander.

Die geringen Remissionsdifferenzen von P 100, P 1, P 2, P 8, P 9 zu den Zeitpunkten 0, 2, 8, 10, 14, 22 h ließen sich durch die ähnliche Topographie der Meßfelder erklären, die großen Remissionsdifferenzen zwischen P 100, P 1, P 2 einerseits und P 8 und P 9 andererseits zu den Zeitpunkten 26, 28, 30 h könnten auf die verschiedenen Strahler mit ihrerseits unterschiedlichem spektralen Anteil an UV und daraus resultierender unterschiedlicher Pigmentierungspotenz zurückgeführt werden. Die gewaltigen Remissionsdifferenzen bei den Zeitpunkten 4, 6, 16, 20 h können jedoch nur mit Meßfehlern der Rotremissionsmessung erklärt werden, wobei vorerst offen bleiben muß, in welchem Anteil die Reliabilität und die Validität unzureichend sind. Bei Betrachtung der diesen Remissionsbestimmungen zugrunde liegenden Rohdaten fällt auf:

Für die Grünremissionsmessungen beträgt die Differenz zwischen I-Meßstandard und I-Schwarzstandard ca. 100 Skalenteile, das bedeutet, daß die Ablesung über die gesamte Skalbreite erfolgte. Für die Rotremission beträgt die Differenz nurmehr ca. 30 Skalenteile, das heißt, daß nurmehr 1/3 der Spiegelgalvanometerskala zur Ablesung zur Verfügung stand.

1.4. Fragestellung

Diese Arbeit befaßt sich mit dem Versuch, das Remissionsmeßverfahren zur Messung von Erythem und Pigmentierung der Haut einerseits von der apparativen Seite weiterzuentwickeln, andererseits durch Erarbeitung einer Meßvorschrift im Sinne einer Standardisierung des Meßvorganges in seiner Meßgenauigkeit zu verfeinern.

Es gilt also:

- a) die Entwicklung und den endgültigen Aufbau der Meßapparatur darzustellen,
- b) eine Meßvorschrift zu erarbeiten,
- c) anhand von Meßversuchen die Anlage hinsichtlich der Handhabung und der Leistungsfähigkeit zu prüfen.

2. METHODIK

2.1. Bestandsaufnahme der bisher am Institut für med. Balneologie der Universität München verwendeten Remissionsmeßapparatur und des Auswertungsverfahrens

2.1.1. Meßapparatur

Als Remissionsphotometer dient das von DIRNAGL entwickelte Erythemmeßgerät, das in den Konstruktionsprinzipien dem in 1.2.3.3.3. b) beschriebenen photoelektrischen Erythem- und Pigmentmesser nach LANGE u. HENSCHKE sehr ähnlich ist. Als Lichtquelle ist eine Wolfram-Wendeldrahtlampe von Carl Zeiss, Typ 380177, 15 V 5 W eingebaut. Durch einen Wärmeschutzfilter, eine zweilinsige Optik, die Filterebene und durch eine kreisrunde zentrale Öffnung des scheibenförmigen Selen-Photoelementes gelangt das Licht zur in Plexiglas ausgeführten Hautauflagefläche. Das vom Meßobjekt remittierte Licht trifft auf das Selen-Photoelement.

Den Lampenstrom liefert ein stromstabilisiertes Netzgerät der Fa. TRYGON, Modell HR 20-10 b, 0-20 V, 10 A.

Die Strommessung des Photostromes erfolgt mittels eines Multiflex-Spiegelgalvanometers der Fa. Dr. B. Lange, Typ MGF O, bestückt mit einem Skaleneinsatz mit einer Skalenteilung von 0 - 100 bei einer minimalen Unterteilung von 0,5 Skalenteilen.

RABANSER (56) arbeitete mit einem grünen Folienfilter, dessen Transmissionsmaximum bei ca. 500 nm lag, GEIGER (19) benutzte ein grünes Glasfilter mit einem Transmissionsmaximum zwischen 400 nm und 530 nm und ein rotes Glasfilter mit einem Transmissionsmaximum zwischen 750 nm und 800 nm.

SCHATZ gebrauchte bei den von uns zitierten Messungen schmalbandige Interferenzfilter von Schott mit $\lambda = 546$ nm (grün) und $\lambda = 691$ nm (rot).

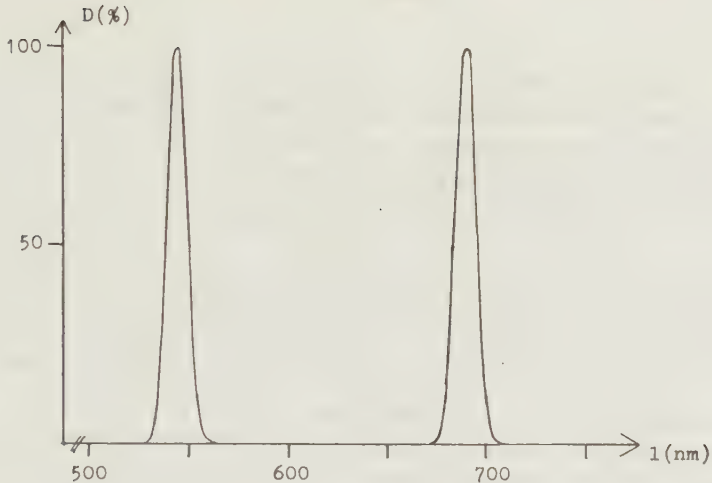


Abb. 11: Durchlässigkeit der Interferenzfilter

2.1.2. Meßvorgang

Das Remissionsphotometer wurde mit freier Hand auf die zu messenden Meßfelder aufgesetzt. Die Auflagegewichtskraft betrug je nach Filterbestückung 7 bis 8 N.

Die Ablesung des Zeigerausschlages am Spiegelgalvanometer erfolgte mit bloßem Auge.

Gemessen wurde in einem teilweise abgedunkelten Raum (GEIGER 19) oder im Bioklimaraum mit konstanter Temperatur und Luftfeuchtigkeit.

Über die Standardmessungen finden wir bei RABANSER (56) keine Angaben. GEIGER (19) sah sich aufgrund der Unmöglichkeit, den Zeigerausschlag des Spiegelgalvanometers über mehrere Minuten konstant zu halten, gezwungen, zu jeder Hautmessung sofort die Reflexion des von ihm benutzten Teflon-Standards zu ermitteln. SCHATZ bestimmte jeweils zu Beginn und am Ende einer Meß-Serie die Reflexion des Schwarz- und Meßstandards. Als Schwarzstandard benutzte er einen gummierten, schwarzen Textilstreifen, wie ihn die Photoindustrie zur Herstellung von Schlitzverschlüssen verwendet, als Meßstandard weißes Papier. Zwischen den Standardmessungen wurden 19 Meßvorgänge abgewickelt.

2.1.3. Auswertungsverfahren

Der Bestimmung der relativen Remission (bezogen auf Meßstandard) liegt folgende Formel zugrunde:

$$\text{Rem (\%)} = \frac{I \text{ (Meßfeld)} - I \text{ (Schwarzstandard)}}{I \text{ (Meßstandard)} - I \text{ (Schwarzstandard)}} \cdot 100$$

GEIGER (19) konnte für jede Messung die aktuellen Reflexionswerte der Standards heranziehen. SCHATZ hatte keine Auswertung vorgenommen. Wir zogen zur Auswertung der SCHATZ'-Messungen den Mittelwert der Standardmessungen zu Beginn und zum Abschluß jeder Meßperiode heran. GEIGER (19) nahm pro Meßperiode und Meßfeld im grünen Spektralbereich 4 Remissionswerte, im roten Spektralbereich 3 Remissionswerte auf und errechnete das arithmetische Mittel. Als Streubreite werden 1 % angegeben. RABANSER (56) bestimmte pro Meßperiode und Meßfeld die Remission zweimal, SCHATZ einmal.

2.2. Änderung der Remissionsmeßapparatur und kritische Reflexion des Meßvorganges

Apparative Änderungen wurden schrittweise vorgenommen und getestet, der Testvorgang wiederum brachte Aufschlüsse über die Zweckmäßigkeit der apparativen Änderungen einerseits und andererseits über die jeweils angewandten Testpraktiken als solche. Aus den daraus gewonnenen Erfahrungen wurde unter Berücksichtigung der sich aus der Literatur hierzu ergebenden relevanten Aspekte die Meßvorschrift entwickelt.

2.2.1. Theoretische Überlegungen

a) Erhöhung des Photostromes des Selen-Photoelementes

Die Remissionsmessungen mit grünen Filtern hatten brauchbare Ergebnisse geliefert. Deshalb sollte an der Verwendung des Selen-Photoelementes festgehalten werden.

Eine Erhöhung des Photostromes gebot sich, weil wir zur Registrierung des Photostromes (siehe 2.2.1. b) einen handelsüblichen Schreiber verwenden wollten, welcher jedoch

einen hohen Innenwiderstand und eine geringe Stromempfindlichkeit aufwies (technische Daten siehe 2.2.2.1. d). Eine Erhöhung des Photostromes ist durch Steigerung der Beleuchtungsstärke erzielbar. Diese Steigerung der Beleuchtungsstärke kann bewirkt werden durch die Erhöhung der Lichtausbeute η_v (lm W^{-1}) der Lichtquelle und durch eine Vergrößerung des Strahlungsflusses Φ_e (W), der auch als Strahlungsleistung P (W) definiert ist. Der Zusammenhang von Strahlungsfluß Φ_e , spezifischer Ausstrahlung M_e (W m^{-2}) und der Lichtausbeute η_v ergibt sich aus folgendem:

$$\Phi_e = P = \int \Phi_{e\lambda} d\lambda \quad (\text{W})$$

$$\Phi_v = \int E_v dA \quad (\text{lm} = \text{cd} \cdot \text{sr})$$

$$\Phi_v = \int K(\lambda) \Phi_{e\lambda} d\lambda \quad (\text{lm})$$

$$K(\lambda) = \Phi_{v\lambda} / \Phi_{e\lambda} \quad (\text{lm W}^{-1})$$

$$\eta_v = \Phi_v / P_{\text{aufgenommen}} \quad (\text{lm W}^{-1})$$

Daraus ergibt sich, daß sowohl durch Vergrößerung der Lichtausbeute η_v als auch durch Vergrößerung der Strahlungsleistung P über die damit verbundene Erhöhung der spezifischen Lichtausstrahlung M_v eine Erhöhung der Beleuchtungsstärke E_v bewirkt werden kann, denn

$$\Phi_v = M_v dA \quad (\text{lx}) \quad \text{und}$$

$$\Phi_v = E_v dA \quad (\text{lx})$$

M_v unterscheidet sich von E_v nur dadurch, daß bei der spezifischen Lichtausstrahlung M_v der Lichtstrom berücksichtigt wird, der von einem Punkt einer Fläche dA ausgeht, während bei der Beleuchtungsstärke E_v der Lichtstrom betrachtet wird, der an einem Punkt eines Flächenelementes dA empfangen wird. Die spezifische Lichtausstrahlung ist der physikalische Aus-

druck für das, was wir in der Umgangssprache als "Helligkeit" einer Lichtquelle, in unserem Fall also der Remissionsphotometerlampe, bezeichnen würden. Ein gewisser prozentualer Anteil der spezifischen Lichtausstrahlung M_V trifft als Beleuchtungsstärke E_V auf das Photoelement, wobei dieser Lichtstrom folgende Größe hat:

$$\Phi_v = \Phi_{v(\text{Lampe})} \cdot \tau_{\text{Wärmefilter}} \cdot \tau_{\text{Optik}} \cdot \tau_{\text{Filter}} \cdot \tau_{\text{Auflagefenster}} \cdot g_{\text{Meßfeld}}$$

$g_{\text{Meßfeld}}$ ist von Meßfeld zu Meßfeld variabel, τ_{gesamt} bleibt bei Verwendung desselben Remissionsphotometers mit demselben Filter konstant.

Letztendlich ist $g_{\text{Meßfeld}}$ die Variable, die im Remissionsmeßverfahren gemessen wird.

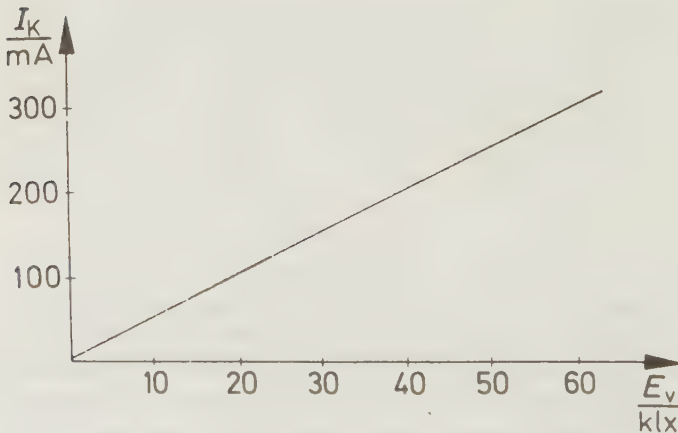


Abb. 12: Abhängigkeit des Kurzschluß-Stromes eines Se-Photoelementes von der Beleuchtungsstärke, nach BEUTH (5), Abb. 12.13.

Diese Überlegungen lassen den Einsatz einer Lampe mit größerer Leistungsaufnahme und höherer Lichtausbeute sinnvoll erscheinen (siehe Abb. 12).

Eine zusätzliche Verstärkung des Stromes des Selen-Photoelementes mittels eines Verstärkers erscheint unproblematisch, zweckmäßig und deshalb angezeigt.

b) Meßteil und Ablesung

Entsprechend der Anregung von GEIGER (19) sollte zur Messung am Remissionsphotometer-Ausgang ein Meßgerät mit Schreiber-vorrichtung zur Anwendung kommen.

c) Kontrollierter Auflagedruck

Zur kontrollierten Verringerung des Auflagedruckes des Remissionsphotometers sollte eine einfache und handliche Lösung gefunden werden.

d) Wärmestrahlung

Die Erhöhung der Strahlungsleistung der Lichtquelle macht zur Verhinderung der Ausbildung von Wärmeerythemen die Verwendung eines wirksamen Wärmefilters notwendig.

2.2.2. Praktische Durchführung der Weiterentwicklung
der Remissionsmeßapparatur und des Auswertungs-
verfahrens

2.2.2.1. Aufbau der Remissionsapparatur

Die Remissionsmeßapparatur setzt sich zusammen aus

- a) dem Netzgerät zum Betreiben der Lichtquelle,
- b) dem eigentlichen Remissionsphotometer, bestehend aus Lampengehäuse, Wärmefilter, Optik, Filterträger, Photoelement und Auflagekopf,
- c) dem Verstärker,
- d) dem Meßgerät mit Schreibervorrichtung,
- e) dem Stativ zur Aufhängung des Remissionsphotometers mit Massenausgleich.

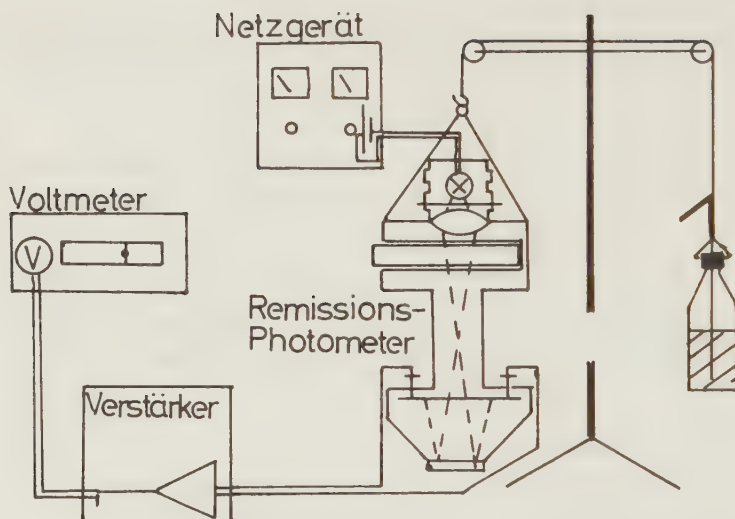


Abb. 13: Aufbau-Skizze der Remissionsmeßapparatur

a) Netzgerät

Das Netzgerät, Fa. TRYGON, Modell HR 20-10 b, Ausgangsstrom 0 - 10 A (einstellbar), Ausgangsspannung 0-20 V (einstellbar) wurde belassen.

b) Remissionsphotometer

Lichtquelle:

Das Remissionsphotometer wurde auf eine andere Lichtquelle umgerüstet. Anstelle der Wolfram-Wendeldrahtlampe Carl Zeiss, Typ 380177, 6V, 15 W, Farbtemperatur 2700°K , wurde eine Wolfram-Halogenglühlampe Osram, Bestell-Nr. 64 425, 12V, 20 W, Farbtemperatur 3000°K , Lichtstrom Φ_v 350 lm (Herstellerangaben, vergl. Abb. 15) "Halo-Star" eingebaut. Dadurch wurde ein neues Lampengehäuse erforderlich, das in Aluminium mit Kühlrippen und Wärmeschutzfiltereinschub ausgeführt wurde.

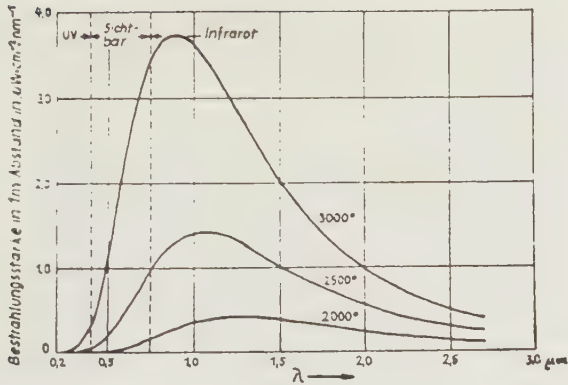


Abb. 14: Energieverteilung eines Wolframbandes von 1 cm^2 .
Parameter ist die Temperatur des Wolframbandes,
nach SIEBERT (67), Bild 2.-3.

Mit dem Einbau der Halogenlampe wurde die Forderung erfüllt, durch die Erhöhung der Beleuchtungsstärke E_V , bedingt durch die erhöhte Strahlungsleistung P und durch die höhere Lichtausbeute η_V aufgrund der höheren Farbtemperatur, zu einer Vergrößerung des Photostromes zu sorgen. Die spektrale Verteilung der Bestrahlungsstärke E_e in Abhängigkeit von der Farbtemperatur zeigt Abb. 14; in Abb. 16 ist die spektrale Verteilung des Strahlungsflusses eines schwarzen Körpers und einer Wolframlampe gegenübergestellt und Abb. 17 zeigt die Abhängigkeit der Urspannungen von Si- und Se-Photoelementen von der Beleuchtungsstärke E_V .

Optik:

Die Optik des Remissionsphotometers wurde belassen.

Filter:

Die Filtereinschubebene der Interferenzfilter wurde belassen, eine zusätzliche Filterverriegelung wurde eingebaut. Zur Anwendung kamen zwei schmalbandige Interferenzfilter der Fa. Schott mit einer maximalen Durchlässigkeit bei $\lambda = 546 \text{ nm}$ für die Grünremission und $\lambda = 691 \text{ nm}$ für die Rotremission (siehe Abb. 11, Seite 29).

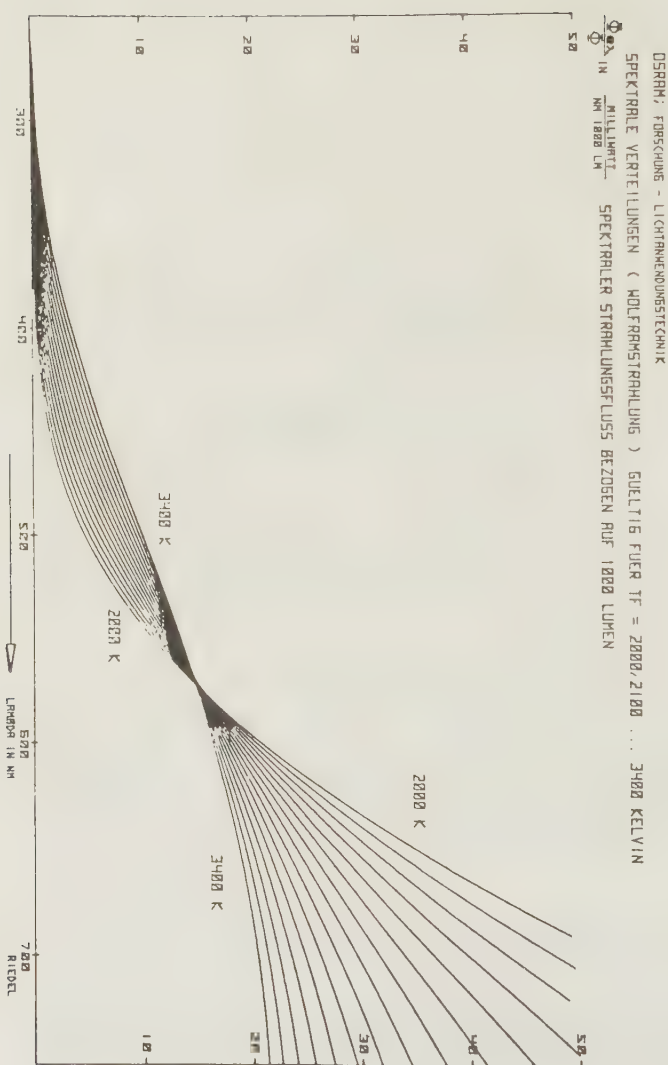


Abb. 15: Spektrale Verteilungen einer Wolframstrahlung, gültig für $T_F = 2000, 2100 \dots 3400$ Kelvin (nach Osram)

Photoelektronischer Empfänger:

Das Selen-Photoelement wurde belassen. Den schematischen Aufbau eines Selen-Photoelementes zeigt Abb. 18.

Meßkopf:

Der Meßkopf mit einem kreisrunden Meßfenster ($\varnothing$ 2,2 cm) wurde belassen. Bei den ersten Meßversuchen machte sich Streulichteinfluß über den seitlichen Rand des Meßfensters störend bemerkbar. Daraufhin wurde der Meßfensterrand mit schwarzem Mattlack abgedeckt.

Masse des Remissionsphotometers:

Remissionsphotometer ohne Filter:	720 Gramm
Filter ($\lambda = 546$ nm):	57 Gramm
Filter ($\lambda = 691$ nm):	48 Gramm

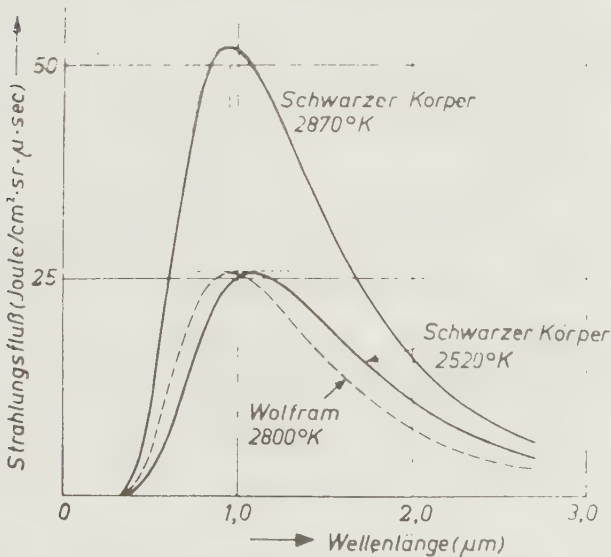


Abb. 16: Vergleich der Strahlung einer Wolframlampe mit der eines schwarzen Körpers. Wahre Temp. 2800°K, Verteilungstemp. 2520°K, Farbtemp. 2870°K, nach CARTER u. DONKER (12), Abb. 25

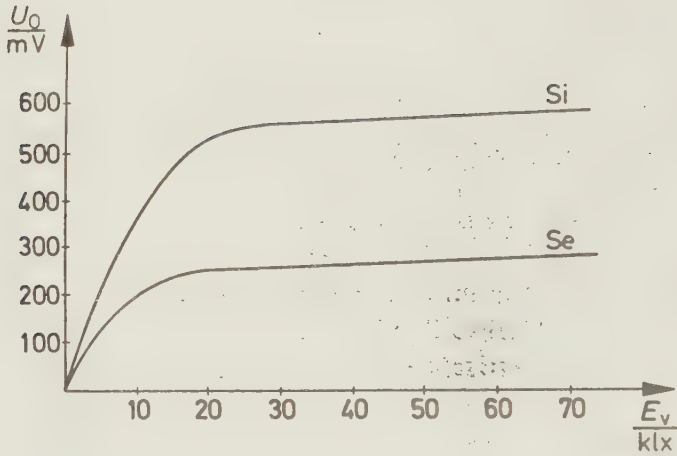


Abb. 17: Abhängigkeit der Urspannungen eines Silizium- und eines Selen-Photoelementes von der Beleuchtungsstärke, nach BEUTH (5), Abb. 12.12.

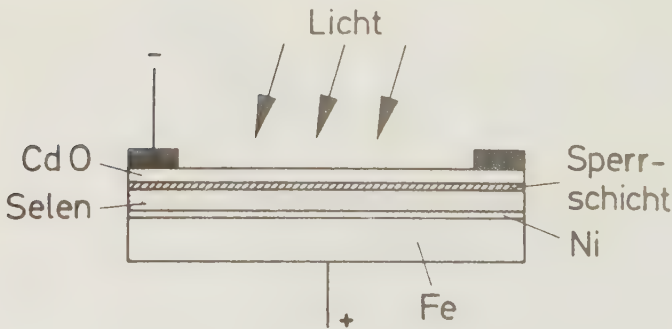


Abb. 18: Aufbau des Selen-Photoelementes

c) Verstärker

Aufbau und Arbeitsweise des Selen-Photoelementes sind beim Konstruktionsprinzip des Verstärkers zu berücksichtigen: Photoelemente sind Energiewandler und haben die Eigenschaft von Generatoren, das heißt, sie haben eine Urspannung und einen Innenwiderstand. Werden Photoelemente im Kurzschluß betrieben, ergibt sich ein sehr guter linearer Zusammenhang zwischen Beleuchtungsstärke E_v und Kurzschluß-Strom I (siehe Abb. 12, Seite 32).

Das hinter das Photoelement geschaltete Strommeßgerät muß deshalb einen möglichst kleinen Innenwiderstand und einen kleinen Spannungsabfall aufweisen.

Diese Forderung läßt sich mit einem invertierenden gegengekoppelten Rechenverstärker realisieren.

Den Schaltplan, nach dem zunächst der Verstärker gebaut wurde, zeigt Abb. 19.

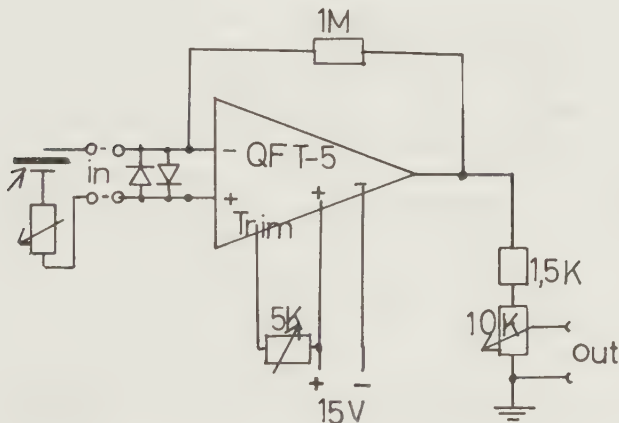


Abb. 19: Schaltplan I des Verstärkers

Nach den Probemessungen zur Ermittlung der zur Betreibung der Photometerlampe bestgeeigneten Stromstärke I - von diesen Probemessungen wird später noch berichtet - schien es zweckmäßig, den Verstärkeraufbau folgendermaßen zu modifizieren:

Beim Vergleich der Spannungen, die am Verstärkerausgang proportional zum Photostrom auftraten - wir wollen in Zukunft einfachheitshalber von Photostrom sprechen - ergaben sich bei einer Lampenstromstärke I von 1,4 A D-Spannungen ($U_{\text{weiß}}$ - U_{schwarz}) von 5,56 V bei $\lambda = 546 \text{ nm}$ und von 0,60 V bei $\lambda = 691 \text{ nm}$. Diese Beobachtung wird verständlich, wenn wir die spektrale Empfindlichkeit eines Selen-Photoelementes betrachten (siehe Abb. 20).

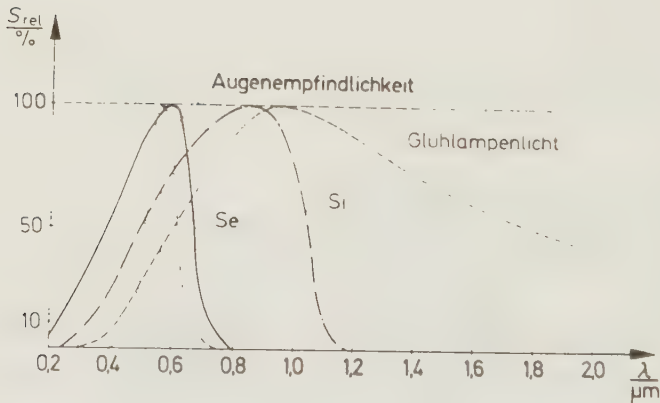


Abb. 20: Spektrale Empfindlichkeit von Selen- und Silizium-Photoelementen. Augenempfindlichkeit und spektrale Verteilung von Glühlampenlicht 2700°K. Nach BEUTH (5) Abb. 12.13.

Die verminderte spektrale Empfindlichkeit des Selen-Photoelementes bei $\lambda = 691 \text{ nm}$ gegenüber $\lambda = 546 \text{ nm}$ wird bei weitem nicht ausgeglichen durch die höhere spektrale Dichte

des Lichtstroms einer Glühlampe bei $\lambda = 691 \text{ nm}$ gegenüber $\lambda = 546 \text{ nm}$.

Bei Berücksichtigung dieser Gegebenheiten ergäbe sich jedoch nur eine Relation von 2:1, nicht jedoch wie gemessen von 10:1 zwischen D-U ($\lambda = 546 \text{ nm}$) und D-U ($\lambda = 691 \text{ nm}$).

Folglich darf angenommen werden, daß entweder die Optik oder die Filterelemente oder das Meßobjekt oder alle diese Faktoren zusammen für $\lambda = 691 \text{ nm}$ einen höheren Absorptionsgrad als für $\lambda = 546 \text{ nm}$ aufweisen.

Der Verstärker sollte nun mit 2 von außen umschaltbaren Verstärkerstufen versehen werden, die sich in ihrem Verstärkungsfaktor wie 1:10 verhalten.

Eine Umschaltung der Instrumentenempfindlichkeit sah auch TRONNIER (83) vor.

Durch ein endseitig geschaltetes lineares Potentiometer sollte die volle Skalenausnützung des Meßgerätes erleichtert werden.

Dementsprechend wurde der Verstärker nach Schaltplan II umgebaut (siehe Abb. 21, Seite 42).

Schwierigkeiten beim Probeversuch mit der VP 1 zwangen zu einer weiteren Veränderung des Verstärkers:

Der Probeversuch wäre beinahe gescheitert, weil die U_{schwarz} -Messungen Werte ergaben, die 50 mV (bei einer Meßgeräteinstellung von $U_{\text{max}} = 100 \text{ mV}$) unter dem Nullpunkt lagen.

Die Offset-Nachregulierung (wozu jedesmal das Verstärkergehäuse entfernt werden mußte) erwies sich als reine Glückssache, da minimale Änderungen am Trimm-Potentiometer zu Skalenausschlägen über die ganze Skalenbreite führten.

Daraufhin wurde das Trimm-Potentiometer zum Offset-Abgleich durch 2 in Reihe geschaltete Trimm-Potentiometer mit unterschiedlichem Widerstand zur Grob- und Feineinstellung ersetzt. Diese Trimm-Potentiometer wurden in von außen zugänglicher Weise angebracht (siehe Abb. 21, Seite 42).

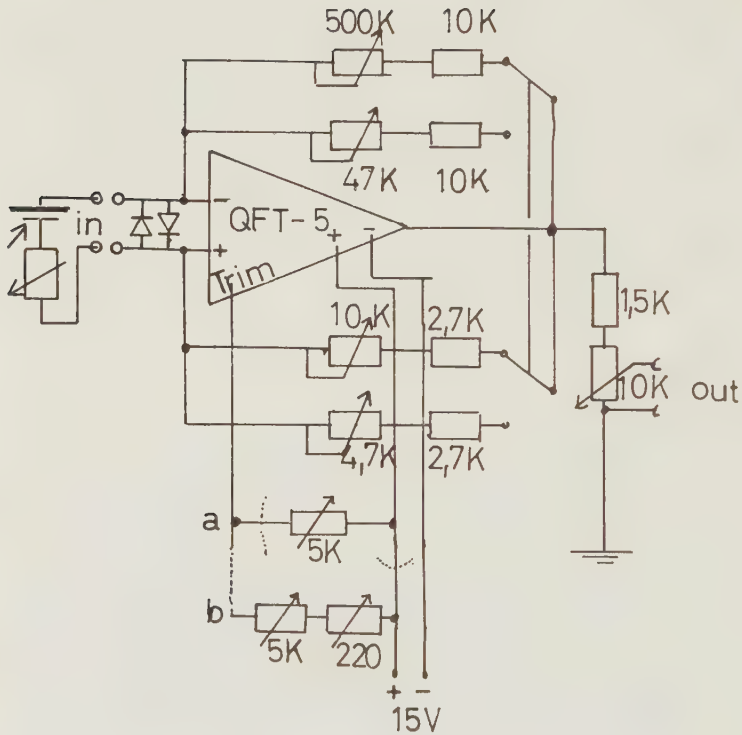


Abb. 21: Schaltplan II (R-Trim a) und Schaltplan III (R-Trim b) des Verstärkers

d) Meßgerät mit Schreibervorrichtung

Als Meßgerät wurde ein Voltmeter mit Schreibereinrichtung der Fa. Philips, Typ PM 8220 "Pen Recorder" eingesetzt.

Technische Daten:

Quellwiderstand (20 mV) 20 k Ω

Innenwiderstand 1 M Ω (abgeglichen)

Meßbereiche 5 mV - 20 V

Papiervorschub 0,5 cm - 8 cm/min

Skalenbreite (Papier PM 9920/oo) 25 cm, 10 Einheiten mit 10 Unterteilungen

Der Nullpunkt ist durch die Zero-Einstellung beliebig über die gesamte Skalenbreite einstellbar.

e) Stativ zur Aufhängung des Remissionsphotometers mit Massenausgleich

Die Remissionsmessungen sollten mit geringem Auflagedruck des Remissionsphotometers durchgeführt werden können.

Bei konstanter Fläche - wir verwenden ausschließlich einen Meßkopf mit einem Meßfenster der Fläche 3,7 cm² - ist der Auflagedruck p der Auflagegewichtskraft G direkt proportional. In unsere Überlegungen bezogen wir zwei Möglichkeiten ein, die erlauben sollten, das Remissionsphotometer mit vorgegebener Auflagegewichtskraft anzuwenden:

Möglichkeit I: Verwendung eines Dynamometers.

Vorteil: Einfache Festlegung der Gewichtskraft.

Nachteil: Höhenabhängigkeit. Höhenveränderungen, ausgelöst z.B. durch Atemexkursionen der Versuchsperson, führen zu Schwankungen der Auflagegewichtskraft.

Möglichkeit II: Verwendung eines Massenausgleichs über Rollen.

Vorteil: Höhenunabhängigkeit. Veränderungen der Auflagegewichtskraft sind nur in der Größenordnung der inneren Reibung der Apparatur möglich.

Nachteil: Das Austarieren des Massenausgleichs erfordert einen gewissen Zeitaufwand.

Wir entschlossen uns zur Ausführung der Möglichkeit II. Der Umlenkrollenträger wurde mit einer Befestigungsmanchette versehen, die sowohl eine Höhenverstellung als auch eine variable Auslagereichweite vom Stativ erlaubt. Die Rollen wurden mit Durchlaufsicherungen versehen, auf der Geräteseite stoßgedämpft mit Seilarretierung. Als Umlaufseil wurde ein V 2A-Stahlseil, $\varnothing 1 \text{ mm}$, beschafft, Aufhängung von Remissionsphotometer und Ausgleichsmassenkörper durch Karabinerhaken. Als Ausgleichsmassenkörper verwendeten wir einen PVC-Laborflüssigkeitsbehälter mit Pipettier-Rohr. Als innere Reibung des Systems wurden 0,5 N gemessen.

2.2.2.2. Betrieb der Remissionsmeßapparatur

a) Betriebsstrom der Photometerlampe

Der Widerstand einer Glühlampe verhält sich wie ein Kaltleiter, das heißt, der Widerstandswert wird ähnlich dem eines PTC-Widerstandes mit steigender Temperatur größer. Bei Temperaturen im Bereich der Betriebstemperatur finden wir jedoch wieder einen flachen Verlauf der Widerstandstemperatur-Kennlinie, es ändert sich also der Widerstandswert in Abhängigkeit von der Temperatur nur noch geringfügig. Da für die elektrische Leistung gilt $P = I^2 \cdot R$ und außerdem gilt $\Phi_e = P$, können wir für den Betriebstemperaturbereich vereinfachen: $\Phi_e \sim I^2$.

Infolgedessen ist es zweckmäßig, die Regelung des Lampenstroms über die Stromstärke I vorzunehmen.

Unter Verwendung des Verstärkers in seiner ursprünglichen Konstruktion konnte bei Grünremissionsmessungen die Photometerlampe nicht mit Nennleistung, der eine Stromaufnahme von 1,66 A entspricht, betrieben werden, da schon bei hellgrauen Meßobjekten U_{max} des Verstärker-outputs erreicht wurde. Das hätte bedeutet, auf die Vorteile der Halogenlampe mit hoher Strahlertemperatur verzichten zu müssen. Nach dem Verstärkerumbau nach Schaltplan II war es möglich, sowohl Rot- als auch Grünremissionsmessungen unter Nennleistung der Halogenlampe, also mit hoher Strahldichte durchzuführen (siehe Abb. 22).

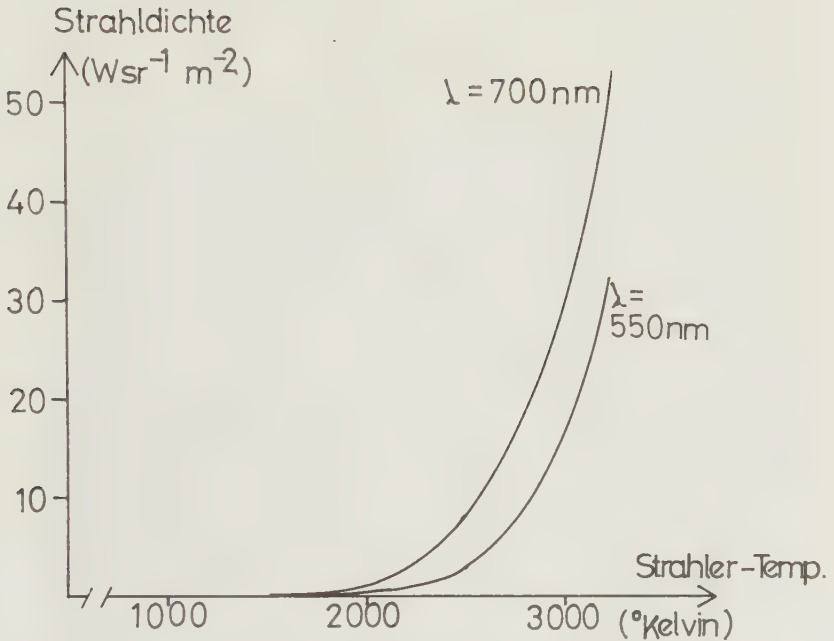


Abb. 22: Strahldichte bei $\lambda = 550 \text{ nm}$ und $\lambda = 700 \text{ nm}$ in Abhängigkeit von der Strahlertemperatur

b) Photostrom bei Remissionsmessungen

aa) Grünremissionsmessungen

Wenn unmittelbar nach der Messung eines sehr dunklen Objektes ein helles Objekt gemessen wurde, registrierte der Schreiber Spannungswerte, die sich während der ersten 10 sek wie der Verlauf einer Kondensatorspannung bei dessen Ladung zeigten. Der Spannungsverlauf einer Kondensatorspannung bei dessen Entladung trat auf, wenn nach einem hellen ein dunkles Objekt gemessen wurde. Bei geringeren Kontrasten der aufeinander folgenden Meßobjekte, bzw. bei größerem Lampenstrom, war die

Zeitdauer des Ladungs- bzw. Entladungsphänomens entsprechend kürzer. Es muß angenommen werden, daß das Selen-Photoelement ähnlich wie ein Germanium-Photoempfänger Eigenkapazitäten hat, deren Anstiegsfunktion nach CARTER u. DONKER (12) in einer e-Funktion ($1 - e^{-t/\tau}$) verläuft.

Außerdem kann angenommen werden, daß ähnlich wie bei Photo-widerständen die Ansprechzeiten bei hohen Beleuchtungsstärken kürzer als bei niedrigen Beluchtungsstärken sein dürften. Im weiteren Zeitverlauf blieb der Spannungsverlauf bei Mes-sungen an unbelebten festen Körpern weitestgehend konstant. Bei Messungen an der Haut zeigte der Spannungsverlauf Oszilla-tionen mit einer Frequenz um 10 - 15 pro min und einer Ampli-tude von max. 4 % der $U_{max.}$, überlagert von Oszillationen mit einer Frequenz von ca. 50 pro min und einer Amplitude von max. 1 % der $U_{max.}$ Die niederfrequenten Oszillationen betreffend, liegt der Schluß nahe, daß diese durch Atem-exkursionen ausgelöst wurden, zumal sie am Gesäß kaum beobachtet wurden.

Die höherfrequenten Oszillationen könnten von der Pulsfrequenz herrühren. Manchmal, besonders bei Messungen an Gesäßhaut-partien mit Erythem, waren noch zusätzliche Oszillationen mit einer Frequenz von 4 pro min und einer Amplitude von max. 3 % der $U_{max.}$ zu beobachten. Diese könnten auf reflek-torischen Durchblutungsschwankungen beruhen, ausgelöst durch das Aufsetzen des Remissionsphotometers auf die Haut, im Sinne eines Axonreflexes (GANONG; 18).

bb) Rotremissionsmessungen

Bei Messungen an Oberflächen von festen Körpern unbelebten Materials wurde unter Verwendung des Verstärkers nach Schaltplan I bei wechselweiser Messung von hellen und dunk-len Oberflächen folgende Beobachtung gemacht:

Die Spannungsverläufe verhielten sich ähnlich wie die Spulen-spannung beim Aufbau und beim Abbau eines Magnetfeldes. Der bei den Grünremissionsmessungen beobachtete Kondensatoreffekt war nicht oder nur kaum zu beobachten. Abb. 23 zeigt ein

Meßprotokoll der Rotremissionsmessungen, deren Spannungsverläufe unverkennbar denen in Abb. 24 und Abb. 25 ähnlich sind.

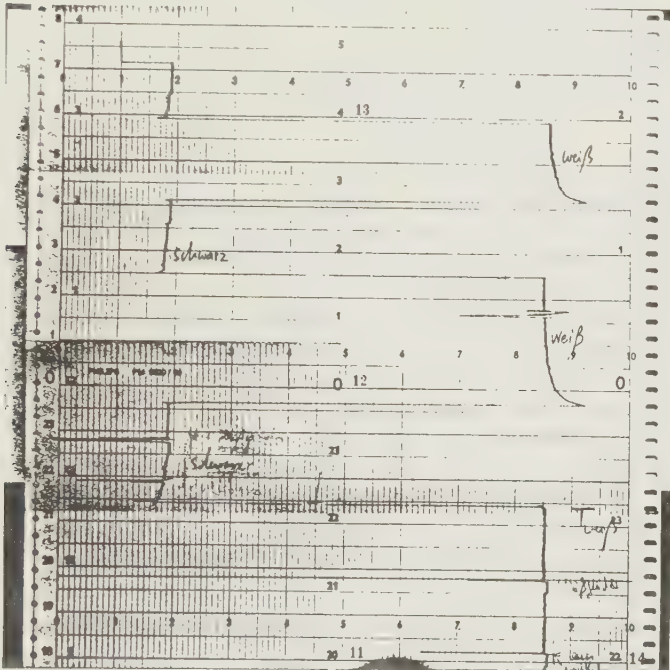


Abb. 23: Schreiberdiagramm des Spannungsverlaufes bei Rotremissionsmessungen

Ob es sich um die Auswirkungen des Photomagnetischen Effektes (CARTER u. DONKER 12) bei Halbleitern, in unserem Falle beim Photoelement, oder um Induktivitäten handelt, die innerhalb des gesamten Meßschenkels, also der funktionellen Einheit Photoelement-Verstärker-Voltmeter, zu suchen wäre, kann von uns nicht eindeutig beantwortet werden. Wir können lediglich feststellen, daß bei den Messungen mit $\lambda = 546 \text{ nm}$ die kapazitiven Spannungsverlaufcharakteristiken und bei

$\lambda = 691 \text{ nm}$ die induktiven im Vordergrund stehen.

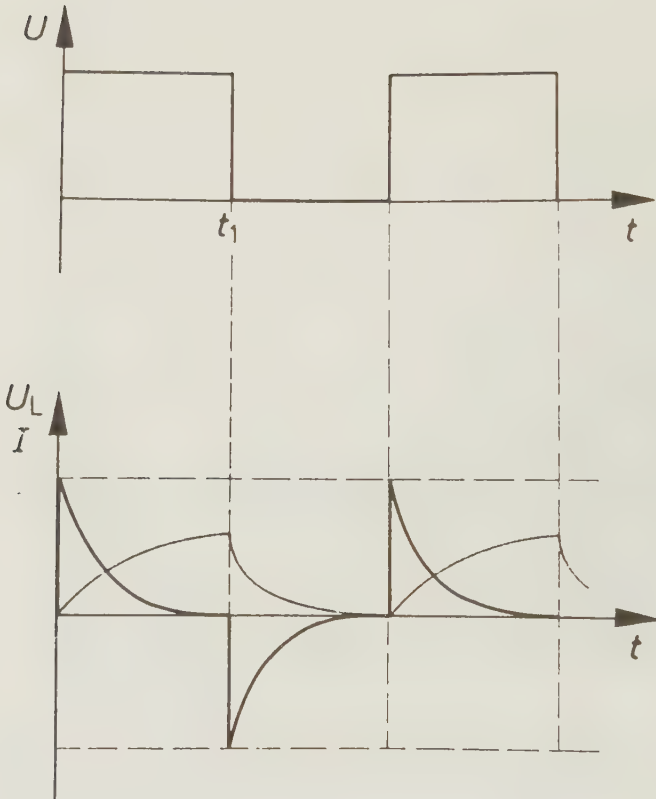


Abb. 24: Einschalt- und Ausschaltvorgang einer Spule bei Speisung mit Rechteckspannung

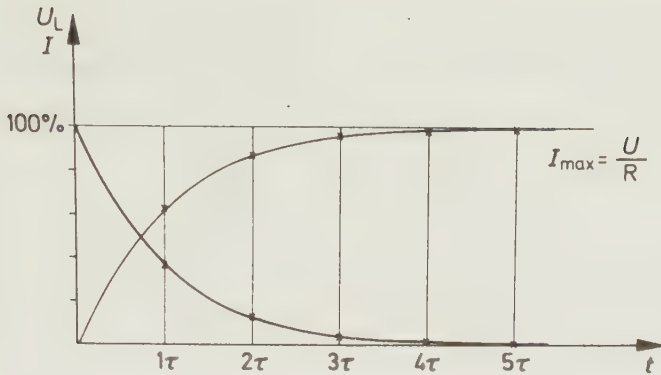


Abb. 25: Zeitlicher Verlauf von Spulenspannung und Strom beim Aufbau eines Magnetfeldes, nach BEUTH (5), Bild 3.41.

Interessant scheint, daß vor dem Umbau des Verstärkers von Schaltplan I zu Schaltplan II, was eine Verringerung des maximalen Verstärkungsfaktors zur Folge hatte, die kapazitiven Spannungsverläufe bei den Grünremissionsmessungen kaum und die induktiven Spannungsverläufe bei den Rotremissionsmessungen stark ausgeprägt waren. Nach dem Umbau des Verstärkers aber waren die kapazitiven Spannungsphänomene bei den Grünremissionsmessungen größer, traten in geringem Maße auch bei den Rotremissionsmessungen auf, während die induktiven Spannungsphänomene bei den Rotremissionsmessungen weniger stark in Erscheinung traten. Deshalb läßt sich mit Sicherheit sagen, daß die Verstärker-Voltmeter-Anordnung an der Auslösung der oben beschriebenen Spannungsphänomene beteiligt ist. In Abb. 26 sind die Spannungsverläufe unter der Verwendung des Verstärkers nach Schaltplan I graphisch dargestellt.

Ein weiteres Problem stellten langzeitige Spannungsschwankungen dar, im weitaus größeren Ausmaß bei den Rotremissionsmessungen beobachtbar. In mehreren Versuchsmessungen beobachteten wir diese Spannungsschwankungen, um Rück-

schlüsse auf die Ursachen ziehen zu können. In Tabelle 4 sind die Meßergebnisse im Zeitverlauf aufgelistet. Tabelle 3 zeigt die Meßbedingungen, unter denen die Meßreihen erstellt wurden.

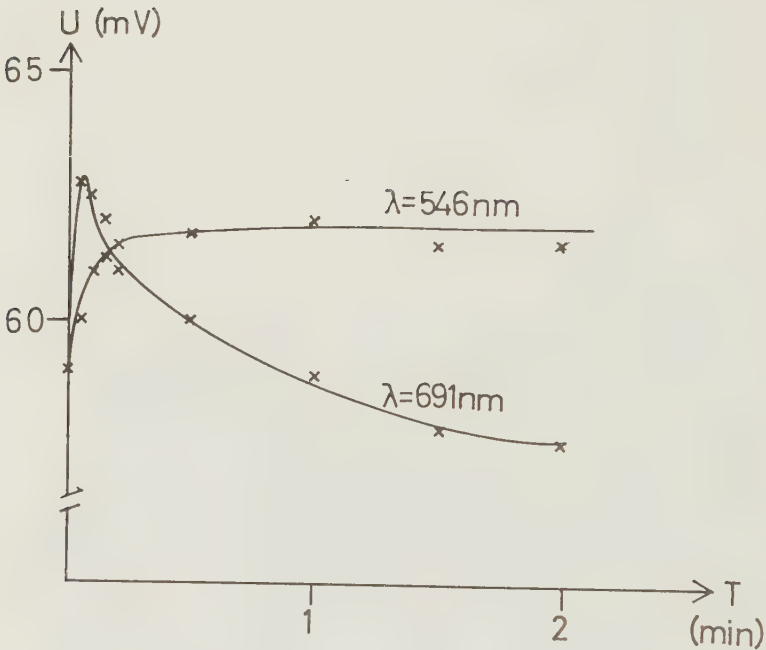


Abb. 26: Graphische Darstellung des Spannungsverlaufes des durch den Verstärker nach Schaltplan I invertierten und verstärkten Photostromes bei der Remissionsmessung eines Weiß-Standards.
Lampenstrom I: 1,35 A bei $\lambda = 546 \text{ nm}$
1,7 A bei $\lambda = 691 \text{ nm}$

Meßreihe	Beleuchtung vor Versuchsbeginn	Meßobjekt	Filter (nm)
1	dunkel	weiß	691
2	hell	weiß	691
3	dunkel	grau/weiß	691
4	dunkel	schwarz/grau/ weiß	691
5	hell	weiß	691
6	hell	schwarz/grau/ weiß	691
7	hell	weiß/grau/ schwarz	546
8	dunkel	weiß/grau/ schwarz	546

Tab. 3: Meßbedingungen der in Tab. 4 aufgelisteten Meß-
reihen

Tab. 4: Spannungsverlauf U (mV) von Remissionsmessungen eines Weiß-Standards

T im Zeitver- lauf(min)	Meßreihen							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0	80,0	33,75	80,0			26,75	42,5	67,0
1		36,25				33,5		
2	78,0	38,0	79,75	94,5	75,25	36,75	41,25	68,5
3	76,0	39,25				38,25		
4		39,6				39,0		
5	73,0	40,0				39,25		
6		40,4	73,0	85,0		39,5	37,75	
7	69,5	40,75				39,25		
8		41,0			70,5	39,25		
9		41,3						
10	66,0	41,75	67,5					67,0
11								
12		42,25					35,5	
13								
14		42,2	63,5	72,5	65,0			
15	62,0							
16		42,75						67,5
17								
18		43,3	60,25				32,75	
19								
20	59,0	43,5		66,25	60,0			
21								
22			57,75					67,25
23		44,0						
24								
25	57,0	44,25						
26			56,0	62,75	57,0			
27								
28								
29								
30	56,0	44,75	54,5					
31								
32				59,0	54,75			
33								
34			53,0					
35	54,0	44,75						
36								
37								
38			52,5	57,0	53,25			

Fortsetzung Tab. 4

T im Zeitver- lauf(min)	Meßreihen							
	1	2	3	4	5	6	7	8
39								
40	52,5	44,25						
41								
42			51,0					
43								
44				55,0	52,0			
45	51,0	44,0						
46			50,0					
47								
48								
49								
50	50,0	44,0	49,5		50,5			
51								
52				51,0				
53								
54			49,0					
55	49,5	44,8						
56					50,0			
57								
58	49,25							
59			48,5					
60	49,0	45,0			47,0			
61								
62								
63			47,5					
64				50,0				
65		44,75						
66					48,25			
67			47,0					
68								
69								
70		45,0		49,5				
71			46,5					
72					47,75			
73								
74								
75		45,0	45,5					
76				49,0				
77								
78					48,0			
79			45,75					
80		45,0						
81								
82				48,75				
83			45,5					
84								
85								

Fortsetzung Tab. 4

T im Zeitver- lauf(min)	Meßreihen							
	1	2	3	4	5	6	7	8
86								
87								
88				47,0				
89								
90								
91								
92								
93								
94				46,0				

Diese Photostromschwankungen waren von LANGEN (40) als "Ermüdungserscheinungen des Photoelementes" interpretiert worden, RABANSER (56) beobachtete sie als Schwankungen am Ausschlag des Spiegelgalvanometers. Wie lassen sich nun aber diese sogenannten "Ermüdungserscheinungen" erklären?

Abb. 20 auf Seite 40 zeigt, daß die spektrale Empfindlichkeit des Selen-Photoelementes bei einer Wellenlänge von

$\lambda = 691$ nm wesentlich geringer ist als bei $\lambda = 546$ nm.

Dieser Empfindlichkeitsabfall wird durch die bei $\lambda = 691$ nm erhöhte Bestrahlungsstärke der Lampe (vergl. Abb. 14, Seite 35) nicht ausgeglichen.

Meßreihe 7 in Tab. 4, durchgeführt mit dem Filter $\lambda = 546$ nm bei reduzierter Bestrahlungsstärke, dokumentiert ähnlich den Meßreihen mit dem Filter $\lambda = 691$ nm ebenfalls eine Spannungsschwankung.

Die Spannungsschwankungen sind also dann groß, wenn die Photoströme sehr klein sind. Wie klein diese Photoströme sind, wird aus folgendem ersichtlich:

Mit unserem Remissionsphotometer messen wir auf das Photoelement treffende Beleuchtungsstärken, die um den Faktor

10^{-5} bis 10^{-6} kleiner sind als die volle Sonneneinstrahlung (100 k lx). Entsprechend sind die durch das Photoelement erzeugten Photoströme gegenüber dem maximalen Kurzschluß-Strom $I_{\max}$ sehr klein und gegenüber dem Dunkelstrom nur geringfügig größer.

Dadurch resultiert eine erhebliche Temperaturabhängigkeit des Photostromes (CARTER u. DONKER; 12). Zudem können wir vermuten, daß eine als Oberflächenrekombination bei Halbleitern beschriebene photoelektrische Erscheinung mitbeteiligt ist: Nach AUTH, GENZOW u. HERMANN (1) beobachtet man bei der Untersuchung der Kinetik der Photoeffekte neben schnellen auch langsam veränderliche Oberflächenzustände mit Umladezeiten von 10^{-3} bis 10^3 s, die man auf Zustände in der Oxidschicht des Halbleiters selbst zurückführt.

Die Beobachtung, daß die Spannungsschwankungen während der Messungen mit dem Filter $\lambda = 691$ nm umso größer sind, je größer die Spannungsdifferenzen der direkt aufeinanderfolgenden Messungen sind, legte uns nahe, zur Kalibrierung nicht Idealweiß MgO zu verwenden. Besser geeignet scheint ein Arbeits-Standard, der eine geringfügig höhere Remission als die Haut aufweist. PFLEIDERER (55) hatte bei seinen Messungen ebenfalls einen Zwischenstandard verwendet.

2.2.2.3. Kalibrierung

a) Schwarz-Standard

Für die zur Kalibrierung notwendigen Schwarz-Standard-Messungen wurde ein Ideal-Schwarz-Meßobjekt entsprechend Abb. 27 angefertigt. Als Zylinder dieses "black box" fand ein geschwärztes Leichtmetallrohr Verwendung, Boden und Deckel sind aus Kunststoff. Dabei wurde die Öffnung im 25 mm dicken Deckel so ausgeführt, daß der seitlich kegelförmig verlaufende Meßkopf des Remissionsphotometers allseits bündig mit der Deckelöffnung schließt. Zur Vermeidung von Reflexions- und Glanzlichtern wurde der Boden kegelförmig ausgebildet und die gesamte Innenfläche sowie der Öffnungstrichter der "black box" mit schwarzem Samt ausgekleidet.

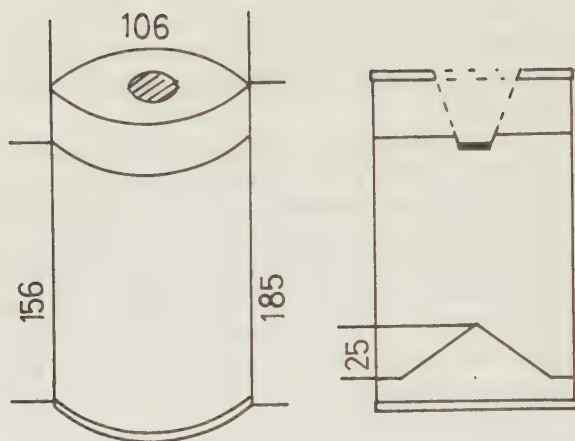


Abb. 27: Schematische Skizze des Ideal-Schwarz-Meßobjektes ("black box")

b) Meß-Standard

Der Meßstandard sollte bei $\lambda = 546 \text{ nm}$ und bei $\lambda = 691 \text{ nm}$ einen nahezu gleichgroßen Remissionswert aufweisen wie die hellsten gemessenen Hautbezirke.

Es wurden die Remissionswerte für $\lambda = 546 \text{ nm}$ und $\lambda = 691 \text{ nm}$ von verschiedenen handelsüblichen grauen und beigeen Pappen im Vergleich zur Haut der Unterarmbeugeseite des Verfassers ermittelt. Als zweckmäßiger Standard erwies sich eine beige-farbene Pappe eines DIN A 3-Kouvertes.

Die Remissionswerte (%) gegenüber weißem Schreibmaschinen-papier:

Filter	Meß-Standard	Unterarmbeugeseite
546 nm	46,8	40,3
691 nm	56,8	59,5

Die Remissionswerte (%) des Meß-Standards bezogen auf Magnesiumoxid als Ideal-Weiß:

Filter	Meß-Standard	MgO
546 nm	58,0	100
691 nm	80,0	100

2.2.2.4. Formel zur Bestimmung des Remissionswertes

Der Differenzbetrag von $U_{\text{Meß-Standard}} - U_{\text{Schwarz-Standard}}$ entspricht einem Remissionswert von 100 %.

Der Differenzbetrag von $U_{\text{Meßobjekt}} - U_{\text{Schwarz-Standard}}$ wird in % des Meß-Standard-Remissionswertes zum Ausdruck gebracht und stellt in dieser Umformung den Remissionswert des jeweils gemessenen Meßobjektes dar.

Demnach erfolgt diese Umformung nach der Formel:

$$\text{Remission(\%)} = \frac{U_{\text{Meßobjekt}} - U_{\text{Schwarz-Standard}}}{U_{\text{Meß-Standard}} - U_{\text{Schwarz-Standard}}} \cdot 100$$

Den unter Verwendung des Meß-Standards ermittelten Remissionsbetrag bezeichnen wir relative Remission.

Den unter Verwendung des Ideal-Weiß-Standards (MgO) ermittelten Remissionsbetrag nennen wir absolute Remission.

2.2.2.5. Formel zur Umrechnung von relativer Remission zu absoluter Remission

$$\text{Der Begriff } \frac{\text{Remission}_{\text{Meß-Standard bezogen auf MgO}}}{100}$$

stellt für die jeweils verwendeten Filter mit der Wellenlänge λ eine Konstante K dar. Entsprechend den in 2.2.2.3. genannten Remissionswerten des Meß-Standards bezogen auf MgO hat K folgende Größe:

$$K \lambda = 546 \text{ nm} = 0,58$$

$$K \lambda = 691 \text{ nm} = 0,80$$

Die Umrechnungsformel lautet:

$$\text{absolute Remission (\%)} = \text{relative Remission (\%)} \cdot K$$

2.3. Testversuche an Versuchspersonen

Die Praxisreife der geänderten Remissionsmeßapparatur und der Meßvorschrift wurde in Versuchen an 5 Versuchspersonen getestet. Die Ergebnisse der Testversuche wurden mit den Ergebnissen der früher durch SCHATZ am Institut durchgeführten Versuche (VP 18) verglichen.

2.3.1. Versuchspersonen

Tabelle 5 gibt eine Beschreibung der Versuchspersonen.

VP	Hautfarbe	Haarfarbe	Neigung zu Sonnenbrand	Neigung zu Bräunung
1	blaß	hellblond	stark	wenig
2	leicht pigmentbetont	dunkelblond	mäßig	mäßig
3	blaß	hellblond	stark	wenig
4	pigmentbetont	dunkelbraun	wenig	stark
5	schwarz (Neger)	schwarz	keine	Neger
18	leicht pigmentbetont	dunkelblond	mäßig	mäßig

Tab. 5: Beschreibung der Versuchspersonen

2.3.2. Methodenstand bei Versuchsdurchführung

Methodenstand 1:

Anwendung der Remissionsmeßapparatur vor deren Änderung in der von GEIGER (19) beschriebenen Anwendungsart.

Methodenstand 2:

Anwendung der nach 2.2. veränderten Remissionsmeßapparatur mit dem Verstärker nach Schaltplan II. Die Versuche nach diesem Methodenstand hatten zum Ziel, Erfahrungen zur endgültigen Fassung der Meßvorschrift zu gewinnen.

Methodenstand 3:

Anwendung der nach 2.2. veränderten Remissionsmeßapparatur mit dem Verstärker nach Schaltplan III. Die Versuche wurden entsprechend der endgültigen Meßvorschrift durchgeführt.

2.3.3. Bei den Bestrahlungsversuchen verwendete
Strahler

Strahler 1:

"Höhensonne" Hafi 500

Strahler 2:

Solarium Hanau de Luxe

Strahler 3:

Lampe Typ Z4 der Fa. Hanau mit vorwiegend UV-A Anteil

2.3.4. Filterwahl

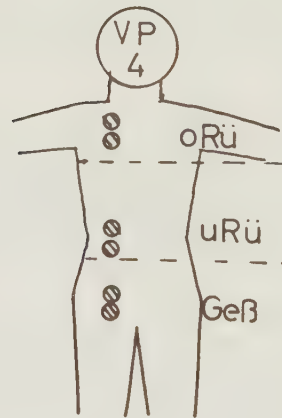
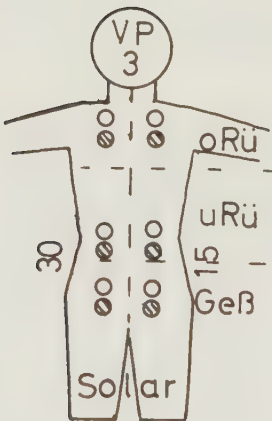
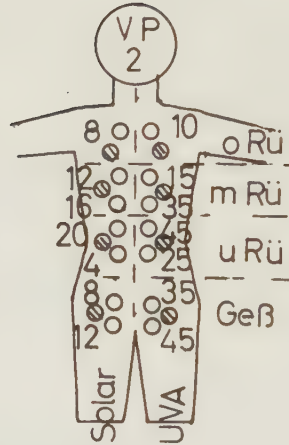
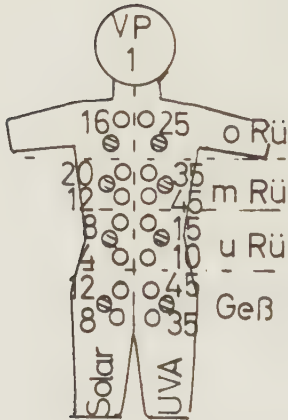
Bei allen Messungen wurden die Grün- und Rotremission mit den in 2.2.2.1. beschriebenen Filtern bestimmt.

2.3.5. Auflagedruck des Meßkopfes

Bei den Versuchspersonen 1 bis 5 wurde der Meßkopf mit einer Gewichtskraft von 0,98 N auf die Haut aufgesetzt. Der dabei entwickelte Auflagedruck beträgt 2580 Pascal. Bei der Versuchsperson 18 wurde mit einer Gewichtskraft von 7,55 N und einem Auflagedruck von 19871 Pascal gemessen. Bei den Versuchspersonen 2 bis 5 wurden Grünremissionsmessungen an einem Meßfeld mit variierten Auflagedrucken vorgenommen.

2.3.6. Anordnung der Meßfelder

Die Anordnung der Meßfelder erfolgte in der Art, wie sie bereits bei früheren Versuchen am Institut durch SCHATZ vorgenommen wurde. Die Meßfelder wurden spiegelbildlich auf beiden Rücken- und Gesäßseiten ausgewählt (vergl. Abb. 28).



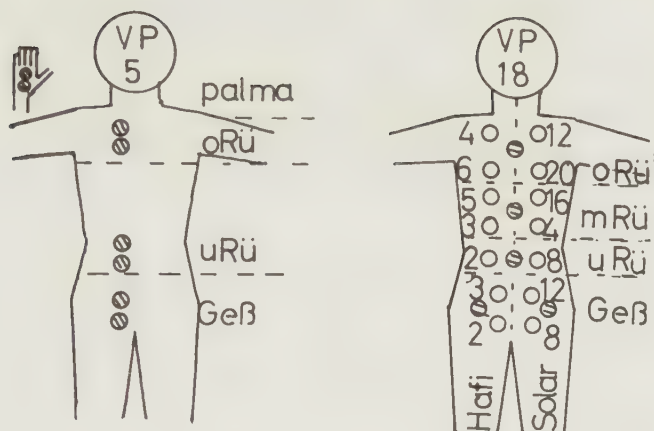


Abb. 28: Anordnung der Meßfelder bei den Versuchspersonen (VP), Strahlerart und Lokalisation.

o UVbestrahltes Testfeld

• unbestrahltes Vergleichsfeld

Die Zahlen neben den Testfeldern geben die Bestrahlungszeit (min) an.

2.3.7. Versuchsdurchführung

2.3.7.1. Versuchsübersicht

Die Art und Weise, in der die einzelnen Versuche durchgeführt wurden, ist der Tabelle 6, Seite 62, zu entnehmen.

VP	Bestrahlung	Strahler-art	Zeitpunkt der Bestrahlung	Methode	n der Rem.-mess. vor Bestr.	n der Rem.-mess. nach Bestr.	Zeitpunkt der Rem.-mess. nach Bestr.	Versuchsraum
1	UV-Strahler	2 u. 3	im Versuch	2	1	4	50-85 165-193 263-288 1150-1180 (min)	abgedunkelt. Raum, Temp. 21°C
2	UV-Strahler	2 u. 3	im Versuch	2	1	4	30-98 108-178 195-250 1400-1455 (min)	abgedunkelt. Raum, Temp. 21°C
3	UV-Strahler	2	im Versuch	3	1	14	10, 60, 120 (min) dann alle 2 h	Bioklima- raum, abge- dunk., Temp. 27°C
4	Sonne		1/2 vor Vers.	3	0	1	1/2 Jahr	abgedunkelt. Raum, Temp. 21°C
5	nicht bekannt	3		3	0	1		abgedunkelt. Raum, Temp. 21°C
18	UV-Strahler	1 u. 2	im Versuch	1	1	15	120 (min), dann alle 2 h	abgedunkelt. Raum, Temp. nicht bekannt

Tab. 6: Versuchsübersicht

2.3.7.2. Verlauf der Versuche

Zur Setzung einer Pigment- bzw. Erythemtreppe wurden bei der Bestrahlung zuerst die Meßfelder mit der längsten Bestrahlungsdauer freigelegt und im Verlauf der Bestrahlung nach und nach die Abdeckung der Meßfelder mit geringerer Bestrahlungsdauer entfernt, so daß zum Ende der Bestrahlung mit einem bestimmten Strahler alle dafür vorgesehenen Meßfelder bestrahlt wurden.

Mit dem Ende der Bestrahlungen begann die Zeitnehmung für den Beobachtungszeitraum der Strahlerwirkung.

Bei allen Messungen wurde die Grün- und die Rotremission bestimmt:

a) VP 1

Schwierigkeiten bereitete die Offset-Nachregulierung am Verstärker zum Abgleich der Dunkelstromspannung, die gegenüber $U_{\text{Meß-Standard}}$ gering, aber positiv sein muß. Diese Schwierigkeiten stellten beinahe die Durchführung des Versuches in Frage, konnten schließlich unter Inkaufnahme von Meßverzögerungen bewältigt werden. Der minimale Zeitaufwand für die Rot- und Grünremissionsmessung der 22 Test- und Vergleichsfelder betrug 65 min.

b) VP 2

Der minimale Zeitaufwand für die Rot- und Grünremissionsmessung der 22 Test- und Vergleichsfelder betrug 45 min.

c) VP 3

Der Versuch mit Versuchsperson 3 wurde als der eigentliche Praxistest der geänderten Remissionsmeßapparatur und der Meßvorschrift nach Methodenstand 3 konzipiert und durchgeführt. Die Versuchsdauer von 24 h mit regelmäßigen Remissionsmessungen sollte einen Vergleich mit der alten Remissionsmeßapparatur ermöglichen. Um den Versuchsverlauf mit zweistündigen Meßfolgen für die Versuchspersonen zumutbar gestalten zu können, war unbedingt eine Reduzierung des Zeitaufwands pro Meßabschnitt anzustreben. Wir reduzierten deshalb die Anzahl der Test- und Vergleichsfelder auf 12, indem wir

nur mit einem UV-Strahler in 2 verschiedenen Bestrahlungszeiten bestrahlten. Dadurch, daß Testfelder verschiedener anatomischer Lokalisation nunmehr gleichlang bestrahlt wurden, erhofften wir, Ergebnisse über den Einfluß der anatomischen Lokalisation der Meßfelder auf die Remission zu bekommen.

Der Zeitaufwand für die Remissionsmessung der 12 Test- und Vergleichsfelder konnte unter 20 min gedrückt werden. Die Versuchsperson hielt sich während der gesamten Versuchsdauer im Bioklimaraum auf.

d) VP 4

Die Versuchsperson hatte sich vor mehr als 6 Monaten reichliche Bräunung durch Sonnenbäder am Rücken, nicht jedoch am Gesäß erworben.

e) VP 5

Bei der Versuchsperson handelte es sich um einen schwarzbraunen Neger aus Nigeria. Neben den üblichen Lokalisationsbereichen wurde die Remission der Handfläche (palma) ermittelt.

3. ERGEBNISSE

3.1. Meßvorschrift für die Anwendung des "Münchener" Remissionsphotometers zur Erythem- und Pigmentmessung der Haut

3.1.1. Meßraum

Die Raumtemperatur soll 27°C nicht unterschreiten und 30°C nicht überschreiten. Der Meßraum muß verdunklungsfähig sein.

3.1.2. Inbetriebsetzung der Remissionsmeßapparatur

a) Verstärker

Offset-Abgleich

Bei verdunkeltem Meßraum (erst nach erfolgtem Offset-Abgleich darf die Raumverdunkelung wieder aufgehoben werden) und bei ausgeschalteter Remissionsphotometerlampe wird das Remissionsphotometer auf den Ideal-Schwarz-Körper aufgesetzt. Bei max. Verstärker-output und hoher Voltmeterempfindlichkeit $\leq 50\text{ mV}$ ist der Dunkelstrom über die Offset-Abgleich-Potentiometer auf max. 1 Skalenteil (10 % der Schreiberskala) und min. 0 zu begrenzen.

b) Netzgerät

Die Photometerlampe ist mit der Nennleistung 20 VA zu betreiben. Die Regelung des Lampenstromes erfolgt über die Begrenzung der Stromstärke I auf 1,7 A.

Eine Spannungsbegrenzung seitens des Netzgerätes erfolgt nicht. Meß- und Kalibrierungsmaßnahmen dürfen erst nach 15 min Lampenbrenndauer erfolgen.

c) Remissionsphotometer

Das Remissionsphotometer wird, versehen mit dem Filter $\lambda = 691\text{ nm}$, auf den Meß-Standard aufgesetzt. War die Beleuchtungsstärke am Photoelement vor der Inbetriebnahme der Anlage klein (dunkler Raum), muß die Fokussierung des Meß-Standards 30 min ununterbrochen erfolgen. War die Beleuchtungsstärke am Photoelement vor der Inbetriebnahme der Anlage groß (heller Raum), muß die Fokussierung des Meß-Standards 15 min ununterbrochen erfolgen.

d) Voltmeterempfindlichkeit und Verstärker-output
Während das Remissionsphotometer auf den Meßstandard aufgesetzt ist, wird durch entsprechende Einstellung der Voltmeterempfindlichkeit (Grobeinstellung) und des Verstärker-output (Feineinstellung) ein Zeigerausschlag auf 9 Skalenteile des Schreibers (90 % der Schreiberskala) bewirkt.

e) Auflagedruck des Remissionsphotometers
Es wird soviel Wasser aus dem gefüllten Massenausgleichsbehälter entfernt, bis das Remissionsphotometer bei gleichkräftigem Stoß nach oben und unten nach einer gleichlangen Strecke aufgrund der Reibung abgebremst ist. Nach Erreichen des Gleichgewichtes werden 102 ml Wasser aus dem Ausgleichsbehälter entfernt.

Die Gewichtskraft des Meßgerätes beträgt 1 N.

3.1.3. Auswahl der Meßfelder

Die Meßfelder sind bevorzugt an Hautbezirken zu wählen, die möglichst frei von Hautfalten und annähernd plan sind und waagrecht liegen bzw. in eine waagerechte Position gebracht werden können.

Unbestrahlte Vergleichsfelder sollen in unmittelbarer Nachbarschaft zu ihren Testfeldern liegen, den Testfeldern weitgehend ähnliche histologische Struktur haben und möglichst gleichstark pigmentiert sein.

3.1.4. Kalibrierung

Die Kalibrierung erfolgt durch die Bestimmung von $U_{\text{Schwarz-Standard}}$ und $U_{\text{Meß-Standard}}$. Dabei ist bei Messungen mit dem Filter $\lambda = 691 \text{ nm}$ unbedingt auf die Reihenfolge Schwarz-Standard - Meß-Standard zu achten. Die einzelnen Messungen im Rahmen der Kalibrierung haben sich mindestens über die Zeitdauer $\geq 1 \text{ min}$ zu erstrecken, um eventuelle unzulässige Spannungsschwankungen rechtzeitig feststellen zu können.

Die Kalibrierung ist zu wiederholen bei Verwendung des Fil-

ters $\lambda = 546 \text{ nm}$ nach spätestens 10 min, bei Verwendung des Filters $\lambda = 691 \text{ nm}$ nach spätestens 5 min. Für jeden Remissionsmeßvorgang (= mehrere Einzelmessungen) muß mindestens zweimal kalibriert werden, und zwar bei Beginn und beim Abschluß des Remissionsmeßvorganges.

3.1.5. Remissionsmessung

Die Registrierung von $U_{\text{Meßobjekt}}$ muß für jedes Meßfeld mindestens über eine Zeitdauer von 30 sek erfolgen. Es ist darauf zu achten, daß das Meßfenster des Remissionsphotometers plan auf dem Meßfeld aufliegt, ohne daß Manipulationen von Hand am Remissionsphotometer vorgenommen werden. Bei Messungen mit dem Filter $\lambda = 691 \text{ nm}$ ist während des Meßfeldwechsels das Remissionsphotometer mit seinem Meßfenster dicht über der Hautoberfläche zu führen. Ist dies nicht möglich, muß ebenso wie beim Überführen des Remissionsphotometers vom Meß-Standard auf das Meßfeld der Meß-Standard am Meßfenster anliegend mitgeführt werden.

3.1.6. Verhalten der Versuchsperson

Die Messungen sollen nicht unmittelbar nach Entkleiden der Versuchsperson begonnen werden. Alterationen des Hautturgors und der Hautfärbung durch beengende Kleidungssteile sind nach Möglichkeit zu verhindern.

Die Temperatur des Aufenthaltsraumes (es erscheint zweckmäßig, daß sich die Versuchsperson auch zwischen den Messungen im Meßraum aufhält) und die Kleidung sollen aufeinander so abgestimmt sein, daß Hautblässe, Kältezyanose, Hitzeerythem und Schweißausbrüche nicht zur Verfälschung der Meßergebnisse führen.

3.1.7. Auswertung des Schreiberdiagramms

a) Ablesung

Zur Berechnung der Remission werden am Schreiberdiagramm

$U_{\text{Meßobjekt}}$, $U_{\text{Meß-Standard}}$, $U_{\text{Schwarz-Standard}}$ 30 sek nach Meßbeginn markiert und abgelesen.

b) Extrapolation von $U_{\text{Meß-Standard}}$ und $U_{\text{Schwarz-Standard}}$

Die auf den jeweiligen Meßzeitpunkt von $U_{\text{Meßobjekt}}$ extrapolierten Werte für $U_{\text{Meß-Standard}}$ und $U_{\text{Schwarz-Standard}}$ werden folgendermaßen ermittelt:

Die Werte von $U_{\text{Meß-Standard}}$ und von $U_{\text{Schwarz-Standard}}$ der Kalibrierungsmessungen unmittelbar vor und nach der Ablesung von $U_{\text{Meßobjekt}}$ werden auf dem Schreiberdiagramm durch Gerade verbunden. Dem jeweiligen Meßzeitpunkt der $U_{\text{Meßobjekt}}$ -Ablesung entsprechend werden auf der Geraden für Ideal-Schwarz $U_{\text{Schwarz-Standard}}$ und auf der Geraden für den Meß-Standard $U_{\text{Meß-Standard}}$ abgelesen.

c) Relative Remission

Die relative Remission wird in % nach folgender Formel errechnet:

$$\text{Remission relativ (\%)} = \frac{U_{\text{Meßobjekt}} - U_{\text{Schwarz-Standard}}}{U_{\text{Meß-Standard}} - U_{\text{Schwarz-Standard}}} \cdot 100$$

d) Absolute Remission

Die absolute Remission kann nach folgender Formel aus der relativen Remission errechnet werden:

$$\text{Remission absolut (\%)} = \text{Remission relativ (\%)} \cdot K$$

Für unsere Filter und unseren Meß-Standard gilt:

$$K(\lambda = 546 \text{ nm}) = 0,58$$

$$K(\lambda = 691 \text{ nm}) = 0,80$$

3.2. Reliabilität, ermittelt am nicht belebten Objekt
(Resopal^R)

Es wurden 2 Meßserien an verschiedenen Tagen vorgenommen. Für jede einzelne Remissionsmessung nahmen wir eine Kalibrierung vor.

Bei beiden Meßserien wurde die Remission nach einem Ablesintervall von 60 sek ermittelt, bei einer Meßserie zusätzlich nach einem Ablesintervall von 120 sek (siehe Tab. 7).

Meßserie	Ableseintervall	n	$\bar{x}$	s	VK
I	60 s	15	47,84	0,71	1,48 %
I	120 s	15	48,48	0,69	1,42 %
II	60 s	13	48,15	0,73	1,51 %

Tab. 7: Mittelwert, Standardabweichung und Variationskoeffizient der Remissionsmeßreihen zur Bestimmung der Reliabilität. $\lambda = 691 \text{ nm}$

3.3. Remissionsmessungen an Versuchspersonen

Es wurden sowohl die von uns an den Versuchspersonen 1 bis 5 als auch die mittels der alten Remissionsmeßapparatur an der Versuchsperson 18 retrospektiv vorgenommenen Remissionsmessungen zur Auswertung herangezogen.

3.3.1. Folgemeßreihen an unbestrahlten Vergleichsfeldern
Unter einer Folgemeßreihe sind sämtliche Remissionsmessungen zu verstehen, die an einem durch Versuchsperson (VP), Strahlerart (UV-Str.), Bestrahlungsdauer (T-Bestr.), anatomischer Lokalisation (Lokal) und Körperseite (K-Seite) eindeutig festgelegtem Meßfeld unter Verwendung eines bestimmten Filters zu verschiedenen Zeitpunkten im Zeitverlauf vorgenommen wurden. Nach diesen Kriterien sind die relativen Remissions- und D-Remissionswerte eindeutig aus dem Datenmaterial entnehmbar und durch entsprechende Umrechnungsfaktoren K je nach Meßstandard und Filter auf absolute Remissions- und D-Remissionswerte (%) umformbar.

3.3.1.1. Parameter der Häufigkeitsverteilung
Für jede Folgemeßreihe eines unbestrahlten Vergleichsfeldes wurde bestimmt:

$\bar{x}$ = Mittelwert (arithmet. Mittel der Einzelmeßwerte)

s = Standardabweichung

n = Anzahl der Messungen

VK = Variationskoeffizient (%)

Siehe Tabelle 8.

Tab. 8: Maßzahlen für die Häufigkeitsverteilung der Folge-
meßreihen (unbestrahlt)

Fil- ter (nm)	VP	Lo- kal	K- Sei- te	n	$\bar{x}$	s	VK (%)	Ables (s)
546	1	oRü	li	5	47,10	1,50	3,18	30
546	1	oRü	re	5	46,58	1,26	2,71	30
546	1	mRü	li	5	50,29	2,35	4,68	30
546	1	mRü	re	5	50,97	0,75	1,48	30
546	1	uRü	li	5	50,22	4,11	8,18	30
546	1	uRü	re	5	54,38	1,12	2,06	30
546	1	Geß	li	5	52,46	1,61	3,06	30
546	1	Geß	re	5	51,40	1,26	2,44	30
546	2	oRü	li	5	41,03	1,85	4,51	30
546	2	oRü	re	5	39,88	1,82	4,57	30
546	2	mRü	li	5	44,98	2,09	4,65	30
546	2	mRü	re	5	42,66	2,78	6,52	30
546	2	uRü	li	5	45,59	2,45	5,38	30
546	2	uRü	re	5	45,76	1,57	3,44	30
546	2	Geß	li	5	58,55	2,24	3,83	30
546	2	Geß	re	5	58,84	1,36	2,31	30
546	3	oRü	li	15	43,57	1,57	3,60	30
546	3	oRü	re	15	43,45	2,93	6,74	30
546	3	uRü	li	15	46,52	1,84	3,96	30
546	3	uRü	re	15	45,70	1,52	3,34	30
546	3	Geß	li	15	53,35	1,56	2,93	30
546	3	Geß	re	15	54,15	1,91	3,54	30
546	18	oRü	mi	16	25,60	4,21	15,92	?
546	18	mRü	mi	16	28,42	4,83	16,99	?
546	18	uRü	mi	16	31,13	2,02	6,49	?
546	18	Geß	li	16	44,23	3,06	6,93	?
546	18	Geß	re	16	44,02	4,31	9,78	?
691	1	oRü	li	5	68,02	2,20	3,23	30
691	1	oRü	li	5	65,54	3,68	5,61	60
691	1	oRü	re	5	68,04	4,51	6,62	30
691	1	oRü	re	5	66,21	4,85	7,33	60

Filter (nm)	VP	Lo- kal	K- Sei- te	n	$\bar{x}$	s	VK (%)	Ables (s)
691	1	mRü	li	5	67,86	3,12	4,59	30
691	1	mRü	li	5	65,86	3,31	5,03	60
691	1	mRü	re	5	72,77	1,80	2,48	30
691	1	mRü	re	5	70,84	2,37	3,35	60
691	1	uRü	li	5	76,21	2,77	3,63	30
691	1	uRü	li	5	73,07	3,07	4,21	60
691	1	uRü	re	5	75,93	5,29	6,97	30
691	1	uRü	re	5	73,33	5,96	8,13	60
691	1	Geß	li	5	77,49	2,74	3,53	30
691	1	Geß	li	5	75,45	2,87	3,80	60
691	1	Geß	re	5	77,16	5,93	7,69	30
691	1	Geß	re	5	75,26	5,86	7,79	60
691	2	oRü	li	5	65,67	2,52	3,85	30
691	2	oRü	re	5	68,12	3,53	5,19	30
691	2	mRü	li	5	66,76	3,62	5,42	30
691	2	mRü	re	5	70,05	1,85	2,64	30
691	2	uRü	li	5	67,78	4,07	6,00	30
691	2	uRü	re	5	70,10	0,77	1,10	30
691	2	Geß	li	5	79,00	5,14	6,51	30
691	2	Geß	re	5	78,59	1,48	1,88	30
691	3	oRü	li	15	64,08	2,45	3,82	30
691	3	oRü	re	15	63,89	2,69	4,20	30
691	3	uRü	li	15	66,82	2,00	3,00	30
691	3	uRü	re	15	66,81	1,93	2,89	30
691	3	Geß	li	15	75,86	2,18	2,87	30
691	3	Geß	re	15	76,48	1,23	1,51	30
691	18	oRü	mi	16	67,92	7,03	10,35	?
691	18	mRü	mi	16	68,00	6,30	9,26	?
691	18	uRü	mi	16	71,10	4,21	5,92	?
691	18	Geß	li	16	82,22	2,84	3,46	?
691	18	Geß	re	16	82,32	2,09	2,54	?

dazu wurde die Häufigkeitsverteilung des Variationskoeffizienten der einzelnen Folge-meßreihen, gruppiert nach Lokalisation, Filterwahl, Ableseintervall (nur VP 1) und Versuchspersonen bestimmt (siehe Tab. 9, Seite 73).

Bei Tabelle 9 fällt ebenso wie bei Abb. 29 auf: der Unterschied des durchschnittlichen VK bei VP 18 gegenüber VP 1, 2 und 3 ist deutlich. VK max. der VP 3 unterschreitet noch den VK max. der VP 1 und 2, sowohl bei den Rotremissionsmessungen als auch den Grünremissionsmessungen, wenn auch $\bar{x}$ für die VK von VP 3 bei Grünremissionsmessungen $\bar{X}$ der VK von VP 1 und 2 gering übertrifft.

Bezüglich des Einflusses der Lokalisation auf die VK der Folge-meßreihen ist folgende Abnahme der Größe des VK erkennbar:

$$VK_{\text{Lokal oRü}} > VK_{\text{Lokal uRü}} > VK_{\text{Lokal Geß}}$$

Die Präzision der Messung nimmt also von kranial nach kaudal zu.

Die 60-Sekunden-Ablesung bei VP 1 erbrachte eine geringfügig größere Streuung der Rotremissionswerte als die sonst übliche (bei VP 18 ist der Ablesezeitpunkt nicht bekannt) 30-Sekunden-Ablesung.

Grünremissionsmessungen lassen eine geringfügig größere Streuung als Rotremissionsmessungen erkennen.

3.3.1.2. Häufigkeitsverteilung in graphischer Darstellung

Die graphische Auswertung erfolgt mit Abb. 29, in welcher die Verteilung der Variationskoeffizienten der absoluten Remission von Folge-meßreihen unbestrahlter Vergleichsfelder, gekennzeichnet nach verschiedenen Beobachtungskriterien, als Punktwolke dargestellt ist:

Die Folge-meßreihen der VP 18 weisen einen signifikant höheren VK als die Folge-meßreihen der VP 1, 2 und 3 auf. Dies gilt in stärkerem Maße für die Grünremission, ist aber auch für die Rotremission noch beachtlich. Weniger signifikant sind die Unterschiede des VK in Abhängigkeit von der anatomischen Lokalisation der Vergleichsfelder und in Abhängigkeit von der Filterwahl.

Tab. 9: Maßzahlen für die Häufigkeitsverteilung der Variationskoeffizienten von Tab. 8, gruppiert nach den Variablen:

Filter, VP, Lokalisation, Ableseintervall.

Die jeweilige Variable, nach der die VK primär aufgeschlüsselt sind, ist durch eine durchgezogene Linie links von der Spalte gekennzeichnet.

Filter (nm)	VP	Lokal	Ables (s)	n	$\bar{x}$	s	VK (%)	$x_{\max}$
546	1,2,3 18	alle	30,?	27	5,30	3,77	71,13	16,99
691	1,2,3 18	alle	30,?	27	4,48	2,31	51,51	10,35
- - - - -								
546	1,2,	alle	30	16	3,94	1,75	44,50	8,18
546	3	alle	30	6	4,02	1,38	34,22	6,74
546	18	alle	?	5	11,16	4,89	43,81	16,99
691	1,2,	alle	30	16	4,87	2,05	42,15	8,13
691	3	alle	30	6	3,05	0,93	30,57	4,20
691	18	alle	?	5	6,31	3,08	54,61	10,35
- - - - -								
546	1,2,3 18	oRü	30,?	7	5,89	4,61	78,26	15,62
546	1,2,3 18	uRü	30,?	7	4,69	2,11	45,00	8,18
546	1,2,3 18	Geß	30,?	8	4,29	2,65	61,80	9,78
691	1,2,3 18	oRü	30,?	7	5,32	2,48	46,70	10,35
691	1,2,3 18	uRü	30,?	7	4,17	2,13	51,19	6,97
691	1,2,3 18	Geß	30,?	8	3,75	2,20	58,79	7,69
- - - - -								
691	1	alle	30	8	4,84	1,97	40,75	7,69
691	1	alle	60	8	5,66	1,88	33,20	7,79



Abb. 29: Verteilung der Variationskoeffizienten der absoluten Remission von Folgemeßreihen unbestrahlter Vergleichsfelder, gekennzeichnet nach den Kriterien Versuchsperson, anatomische Lokalisation und Wellenlänge λ der Filter.

3.3.2. Remissionsmessungen an UV-bestrahlten Testfeldern

3.3.2.1. Grünremission ($\lambda = 546 \text{ nm}$)

a) Verlaufsdarstellung

Siehe Abb. 32 bis 36

Die Ergebnisse der Grünremissionsmessungen sind als Differenz der absoluten Grünremission von UV-bestrahlten Testfeldern und den dazugehörigen unbestrahlten Vergleichsfeldern im Zeitverlauf graphisch dargestellt. Positive D-Remissionswerte bedeuten demnach eine höhere Remission des Testfeldes gegenüber der Remission des Vergleichsfeldes, negative D-Remissionswerte eine niedrigere Remission des Testfeldes gegenüber der Remission des Vergleichsfeldes. Zum Verständnis sei in Erinnerung gerufen, daß die Remission umso höher ist, je weniger Licht (eines bestimmten Spektralbereiches) vom Meßfeld absorbiert wird.

Das Bestrahlungsende ist durch einen mit "BE" bezeichneten vertikalen Pfeil gekennzeichnet, die Zeit der Nachtruhe der Versuchsperson durch "NR" über der Abszisse markiert. Die Zeitskala gibt die Zeit nach dem Bestrahlungsende an, in der die Remissionsmessung vorgenommen wurde. Meßergebnisse zum Zeitpunkt 0 aufgetragen, wurden bei der Remissionsmessung unmittelbar vor Bestrahlungsbeginn gewonnen.

Da bei VP 1 und VP 2 insgesamt pro Meßfeld nur 5 Messungen im Zeitverlauf vorgenommen wurden, wobei zwischen der Messung 4 und 5 ein Zeitraum von mindestens 16 h bestand, wurden zur graphischen Darstellung von Einzelmeßergebnissen nur VP 3 und VP 18 berücksichtigt.

Zum Vergleich des Methodenstandes schien es zweckmäßig, Messungen nach dem Methodenstand 2, also bei VP 1 und VP 2 mit zum Vergleich der Ergebnisse von VP 3 und VP 18 heranzuziehen, stellt doch Methodenstand 2 eine Vorstufe von Methodenstand 3 dar, sich von diesem nur darin unterscheidend, daß die Messungen bei Methodenstand 2 noch ohne Meßvorschrift erfolgten. Somit wurde bei Abb. 36 zur Unterdrückung des Einflusses der Parameter Lokalisation, UV-Strahler und Bestrahlungszeit jeweils der arithmetische Mittelwert der

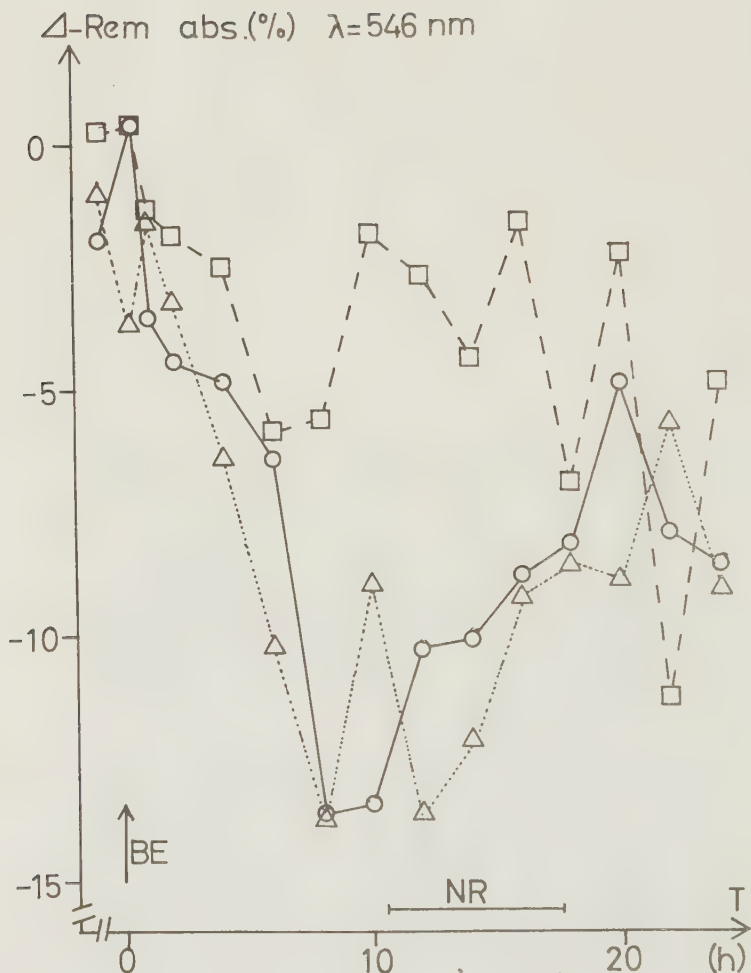


Abb. 32: Graphische Darstellung des zeitlichen Verlaufes der Differenz der absoluten Grünremission zwischen UV-bestrahlten Testfeldern und unbestrahlten Vergleichsfeldern der VP 3. UV-Strahler Solar., T-Bestr. 15 min, Lokal.: o = oRü, □ = uRü, △ = Geß.

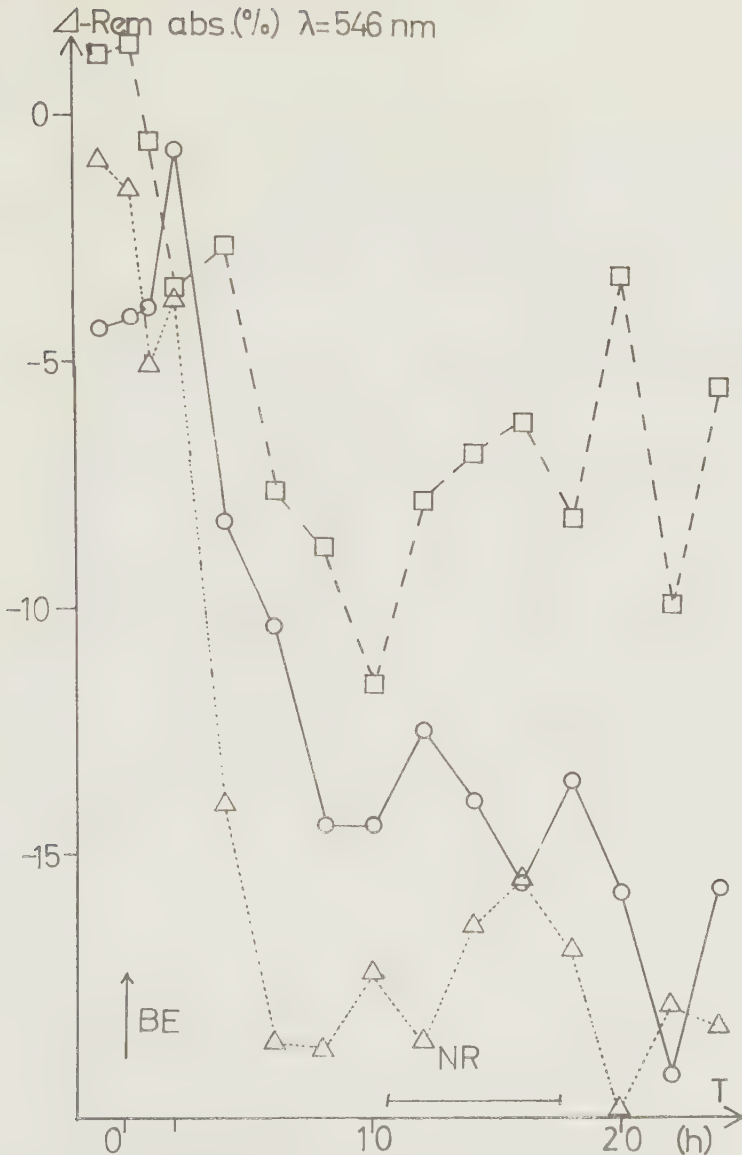


Abb. 33: Graphische Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Differenz der absol. Grünremission zwischen UV-bestr. Test- und unbestr. Vergleichsfeldern der VP 3. UV-Strahler Solar., T-Bestr. 30 min, Lokal: o = oRü, □ = uRü, Δ = Geß.

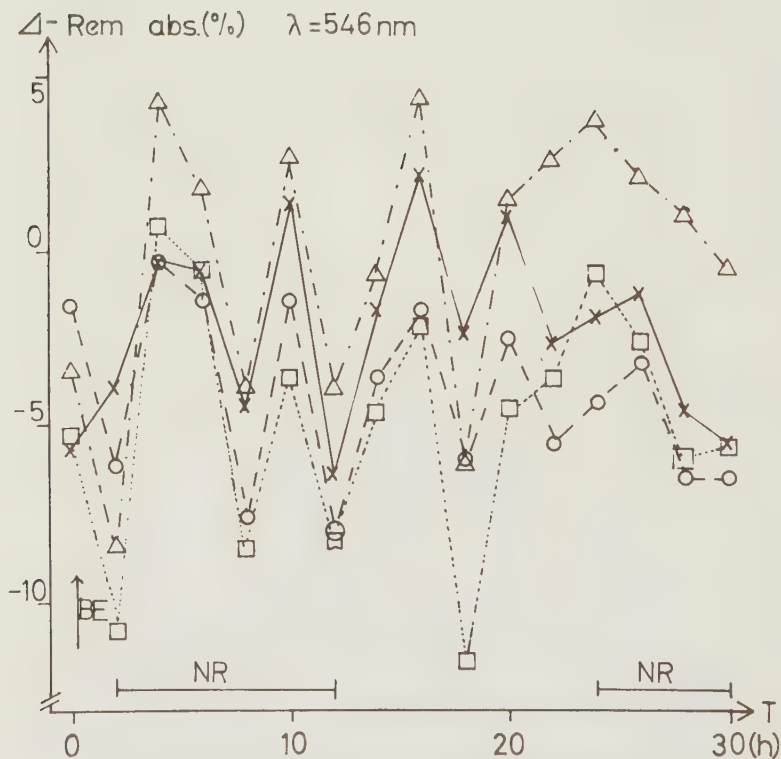


Abb. 34: Graphische Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Differenz der absol. Grünremission zwischen UV-bestr. Test- und unbestr. Vergleichsfeldern der VP 18. UV-Strahler Solar., Lokal. u. T-Bestr.: x = oRü, 12 min; o = oRü, 20 min; □ = mRü, 16 min; △ = mRü, 4 min. (Retrospektive Auswertung der Messungen von SCHATZ)

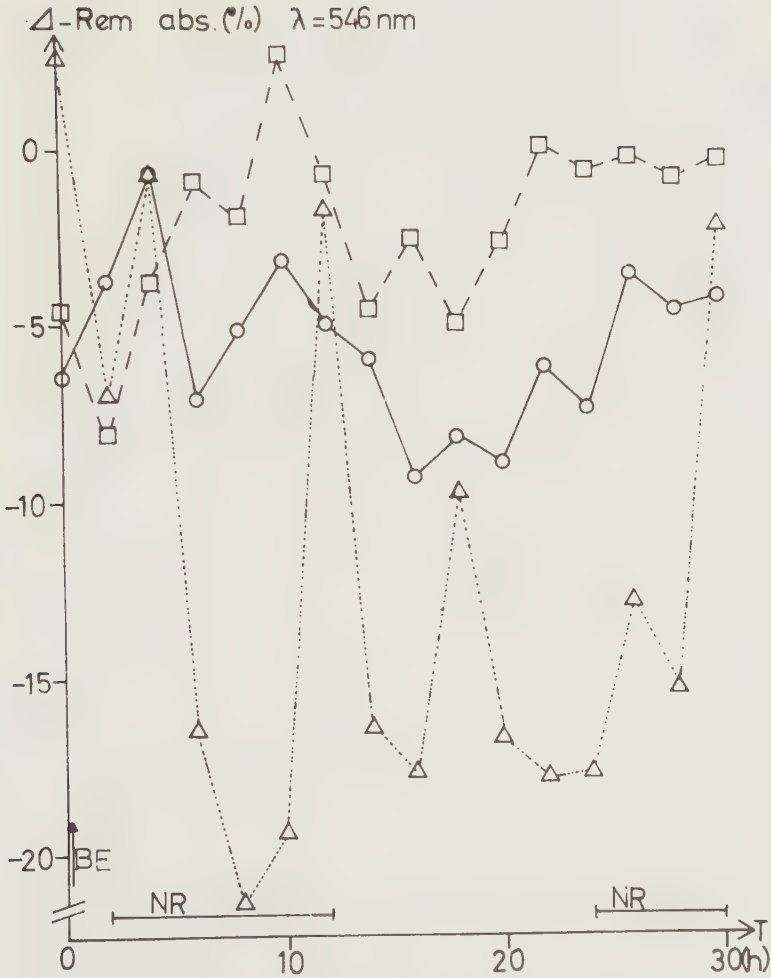


Abb. 35: Graphische Darstellung des zeitl. Verlaufs der Differenz der absol. Grünremission zwischen UV-bestr. Test- und unbestr. Vergleichsfeldern der VP 18. UV-Strahler Solar., Lokal. und T-Bestr.: $\square$ = uRü, 8 min; $\triangle$ = Geß, 12 min; $\circ$ = Geß, 8 min.

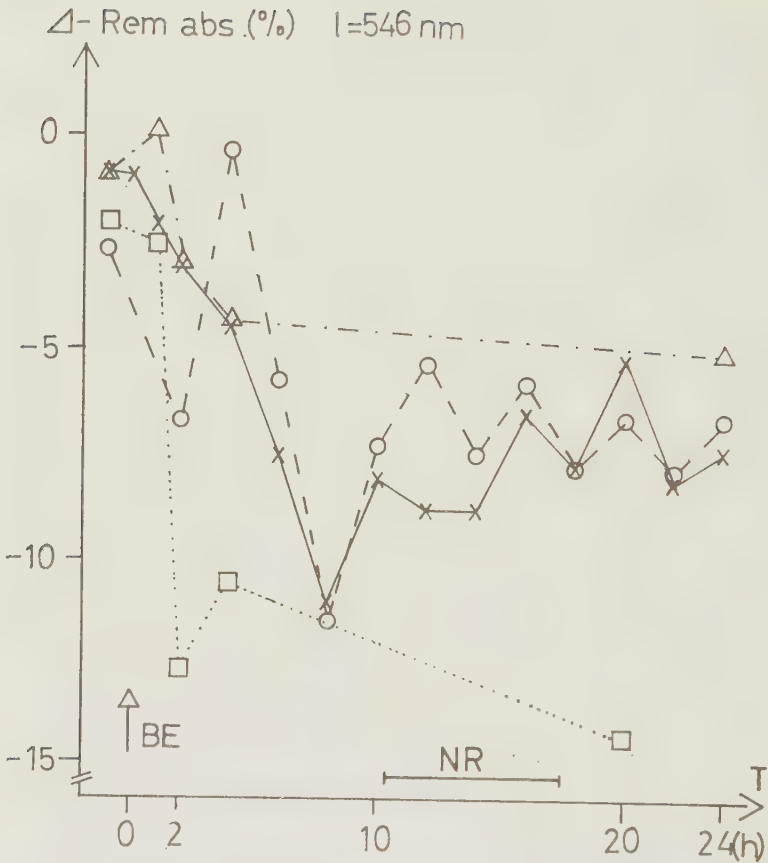


Abb. 36: Graphische Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Differenz der absol. Grünremission zwischen UV-bestr. Test- und unbestr. Vergleichsfeldern.

- x = arithm. Mittel der D-Rem von 3 Testfeldern der VP 3.T-Bestr. 15 min, Lokal.: oRü, uRü, Geß.
- o = arithm. Mittel der D-Rem von 3 Testfeldern der VP 18. T-Bestr. 12-16 min, Lokal.: oRü, uRü, Geß.
- = arithm. Mittel der D-Rem von 3 Testfeldern der VP 1. T-Bestr. 12-16 min, Lokal.: oRü, uRü, Geß.
- Δ = arithm. Mittel der D-Rem von 3 Testfeldern der VP 2.T-Bestr. 12-20 min, Lokal.: uRü, uRü, Geß.

UV-Strahler Solar.

D-Rem von 3 Testfeldern einer VP mit unterschiedlicher Lokalisation, jeweils mit demselben UV-Strahler 12 bis 20 Minuten bestrahlt, gegen den Zeitverlauf aufgetragen.

Bei Abb. 32 und 33 ist eine erhebliche Abnahme der D-Rem aller Testfelder gegenüber den Ausgangswerten zum Zeitpunkt 0 zu sehen. Dabei zeigen alle Testfelder mit T-Bestr. = 30 min (Abb. 33) eine stärkere Abnahme der Remission als die Testfelder mit T-Bestr. = 15 min (Abb. 32). Unabhängig von der Bestrahlungsdauer und abhängig von der anatomischen Lokalisation nimmt die Abnahme der Remission zu in der Reihenfolge uRü - oRü - Geß. Diese Beobachtungen haben im wesentlichen Gültigkeit über den gesamten Zeitverlauf der Grünremissionsmessungen von VP 3. Ein etwas anderes Bild ergeben die retrospektiv ausgewerteten Grünremissionsergebnisse von VP 18 (Abb. 34 und 35). Kontinuierliche D-Remissionsänderungen treten gegenüber periodisch schwankenden D-Remissionsänderungen mit einem Ausmaß bis zu 18 % von Meßzeitpunkt zu Meßzeitpunkt in den Hintergrund. Eine Abhängigkeit der Remissionsminderung von der Bestrahlungszeit und der anatomischen Lokalisation ist dennoch erkennbar. Für das Testfeld der Lokal. oRü mit T-Bestr. 4 min kann mit Sicherheit ein UV-Erythem ausgeschlossen werden, da nur in 4 Messungen nach der UV-Bestrahlung die D-Remission gegenüber der D-Remission vor der Bestrahlung negativere Werte aufweist, wobei der größte D-Remissionsunterschied im Ausmaß von 4,2 % bereits nach 2 h nach Bestrahlungsende vorliegt. Dieser Remissionsverlauf ist nicht typisch für ein UV-Erythem.

Unter Berücksichtigung von D-Rem zum Zeitpunkt 0 lassen sich bezüglich des Remissionsverlaufes der Testfelder im Vergleich mit ihren Vergleichsfeldern bei der Betrachtung des gesamten Zeitverlaufes für VP 18 folgende Feststellungen treffen: Mit deutlichem Abstand gegenüber allen anderen Testfeldern weist das Testfeld, Lokal. Geß, T-Bestr. 12 min (Abb. 35) die größte Remissionsminderung im Grünen auf. Die Remissionsminderung der anderen Testfelder nimmt in folgender Reihenfolge ab (angegeben wird jeweils die Lokalisation und die Bestrahlungszeit des Testfeldes):

oRü 20 min, Geß 8 min, mRü 16 min, oRü 12 min.

Das Testfeld uRü 8 min läßt wie Testfeld mRü 4 min keine Remissionsminderung erkennen.

Die Größe der Remissionsminderung zeigt also eine Abhängigkeit von der anatomischen Lokalisation einerseits (Remissionsminderung_{Geß} > Remissionsminderung_{Rü}), andererseits aber auch eine direkte Proportionalität zur Bestrahlungszeit. Generell kann für VP 3 und VP 18 gesagt werden, daß die Remissionsminderung im Zeitverlauf umso eher eintritt, je größer die Remissionsminderung ist.

Abb. 36 verdeutlicht, daß sich die D-Remission im Zeitverlauf bei VP 3 kontinuierlicher ändert als bei VP 18.

b) Häufigkeitsverteilung

Als beschreibende statistische Maßzahlen wurden der Mittelwert $\bar{x}$, die Standardabweichung s und der Variationskoeffizient VK der Folgemesreihen bestrahlter Testfelder der VP 3 und der VP 18 herangezogen. In Tabelle 10 sind diese statistischen Maßzahlen denen der unbestrahlten Vergleichsfelder gegenübergestellt.

Wir erwarten bei der Ausbildung eines UV-induzierten Erythems, daß $\bar{x}$ der UV-bestrahlten Testfelder kleiner ist als $\bar{x}$ der dazugehörigen unbestrahlten Vergleichsfelder. Da wir das UV-Erythem von der Entstehung bis zu seiner Ausprägung beobachten, erwarten wir eine größere Streuung und somit einen größeren VK bei den Messungen der Testfelder im Vergleich zu den Messungen der dazugehörigen Vergleichsfelder. Bei 2 Testfeldern der VP 18 (mRü 4 min, uRü 8 min) ist $\bar{x}$ gegenüber den Vergleichsfeldern gleich groß bzw. nur gering erniedrigt. Alle anderen Testfelder der VP 3 und der VP 18 sind in $\bar{x}$ gegenüber den Vergleichsfeldern deutlich erniedrigt. Die im Rahmen der graphischen Auswertung beobachtete Abhängigkeit der Grünremissionsminderung der UV-bestrahlten Testfelder von der Bestrahlungszeit und der anatomischen Lokalisation wird durch die statistische Auswertung bestätigt. Nur die Testfelder der VP 3 haben, wie wir erwarteten, einen größeren VK als ihre Vergleichsfelder. Aufgrund mangelhafter

Filter (nm)	VP	Lokal	T-Bestr. (min)	$\bar{x}$	s	VK	T-Bestr.	$\bar{x}$	s	VK	n
546	3	oRü	30	32,10	4,74	14,78	0	43,57	1,57	3,60	15
546	3	oRü	15	36,34	2,88	7,93	0	43,45	2,93	6,74	15
546	3	uRü	30	41,29	3,34	8,08	0	46,52	1,84	3,96	15
546	3	uRü	15	42,26	2,50	5,92	0	45,70	1,52	3,34	15
546	3	Geß	30	39,28	7,22	18,38	0	53,35	1,56	2,93	15
546	3	Geß	15	46,49	4,89	10,52	0	54,15	1,91	3,54	15
546	18	oRü	12	23,33	3,14	13,05	0	25,60	4,21	15,92	16
546	18	oRü	20	21,47	3,49	16,29	0				16
546	18	mRü	4	28,34	3,02	10,64	0	28,42	4,83	16,99	16
546	18	mRü	16	23,64	3,55	15,03	0				16
546	18	uRü	8	29,04	1,75	6,03	0	31,13	2,02	6,49	16
546	18	Geß	8	38,42	4,76	12,38	0	44,02	4,31	9,78	16
546	18	Geß	12	32,08	7,91	22,78	0				16

Tab.10: Gegenüberstellung von $\bar{x}$, s und VK der absoluten Grünemission von Folge-
meßreihen UV-bestrahlter Testfelder und unbestrahlter Vergleichsfelder
der VP 3 und VP 18

Meßpräzision haben bei VP 18 die unbestrahlten Vergleichsfelder schon so große VK, daß sie in ihrem VK von den UV-bestrahlten Testfeldern größtenteils nicht mehr übertroffen werden können. In der großen Streuung der Remissionswerte der Vergleichsfelder von VP 18 ist letztlich auch die Ursache für den sprunghaften Verlauf der D-Remission der Testfelder zu suchen.

3.3.2.2. Rotremission ($\lambda = 691 \text{ nm}$)

a) Verlaufsdarstellung

Analog der graphischen Darstellung der Grünremissionsergebnisse erfolgt die graphische Darstellung der Rotremissionsergebnisse als D-Remission zwischen UV-bestrahlten Testfeldern und unbestrahlten Vergleichsfeldern in den Abb. 37 bis 41.

Zusätzlich sind in den Abb. 42 und 43 die Rotremissionswerte von UV-bestrahlten Testfeldern und unbestrahlten Vergleichsfeldern der Lokalisation oRü und Geß der VP 3 und der VP 18 graphisch dargestellt.

Die Beurteilung der Rotremissionsverläufe allein durch kritische Betrachtung der graphischen Darstellungen gestaltet sich schwierig.

Deskriptiv können folgende Feststellungen getroffen werden: Die Rotremissionswerte der Folgemeßreihen von UV-bestrahlten Testfeldern und unbestrahlten Vergleichsfeldern der VP 3 (neues Verfahren) weisen eine deutlich geringere Streuung auf als die der VP 18 (altes Verfahren).

Eine Rotremissionsminderung der Testfelder gegenüber den Vergleichsfeldern ist feststellbar:

Sehr deutlich für das Testfeld P14 der VP 18 ab 2 h nach Bestrahlungsende,

weniger ausgeprägt für die Testfelder der Lokalisation oRü von VP 3 in der 2. Hälfte des Versuchsverlaufes.

Die D-Rem-Schwankungen bei VP 3 verbleiben in einer Bandbreite von ca. 5 % abs. Remission von einigen Ausreißern abgesehen, während bei VP 18 die Bandbreite mehr als 10 % abs. Remission beträgt.

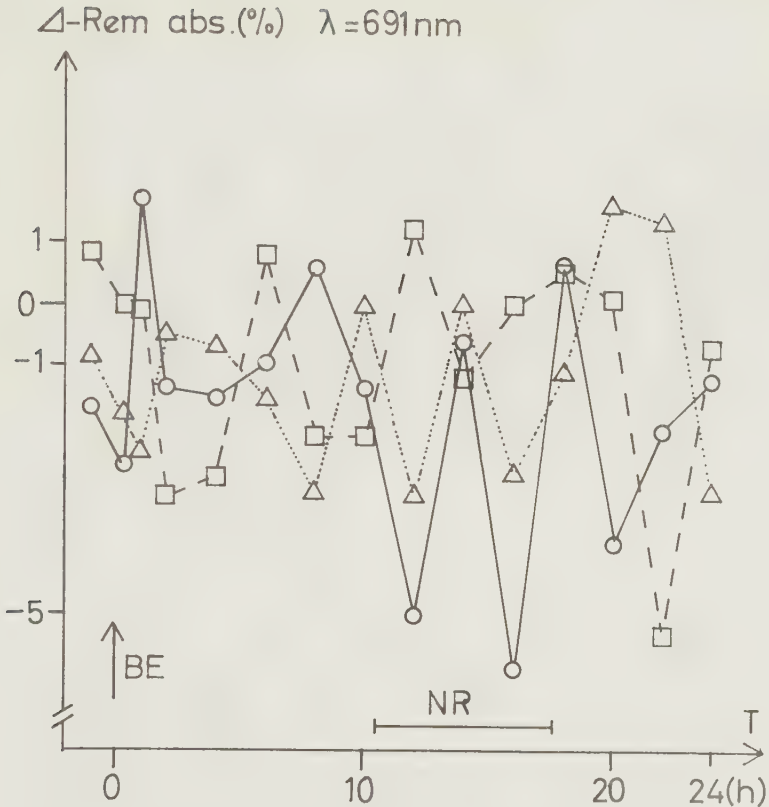


Abb. 37: Graphische Darstellung des zeitl. Verlaufs der Differenz der absol. Rotemission zwischen UV-bestr. Test- und unbestr. Vergleichsfeldern der VP 3. UV-Strahler Solar., T-Bestr. 15 min, Lokal.: o = oRü, □ = uRü, △ = Geß.

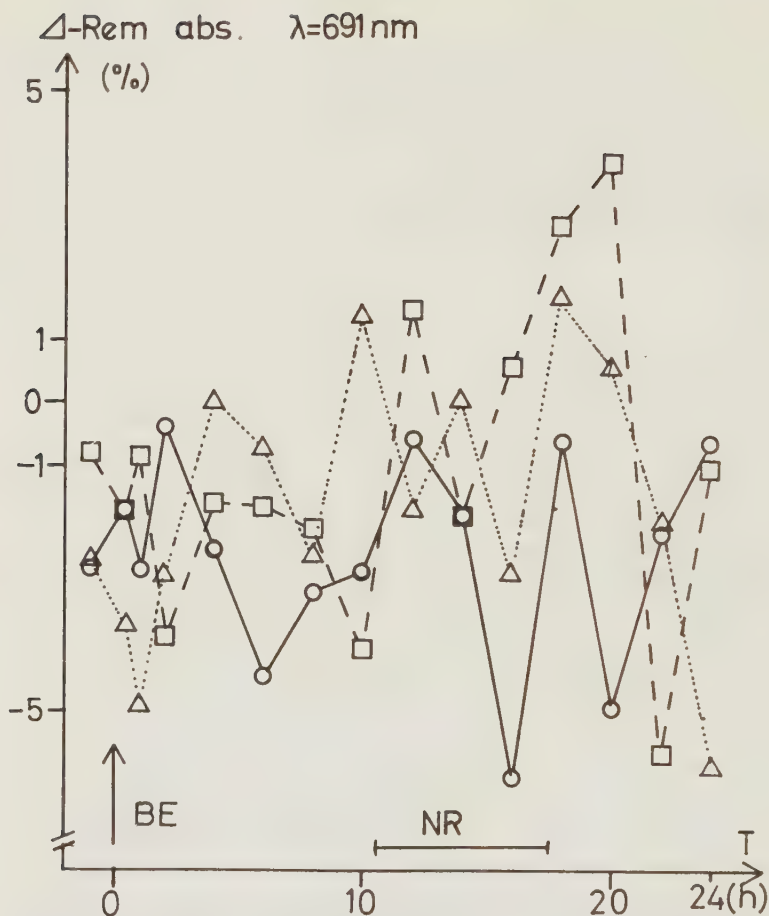


Abb. 38: Graphische Darstellung des zeitl. Verlaufs der Differenz der absol. Rotremission zwischen UV-bestr. Test- und unbestr. Vergleichsfeldern der VP 3. UV-Strahler Solar., T-Bestr. 30 min, Lokal.: o = oRü, □ = uRü, Δ = Geß.

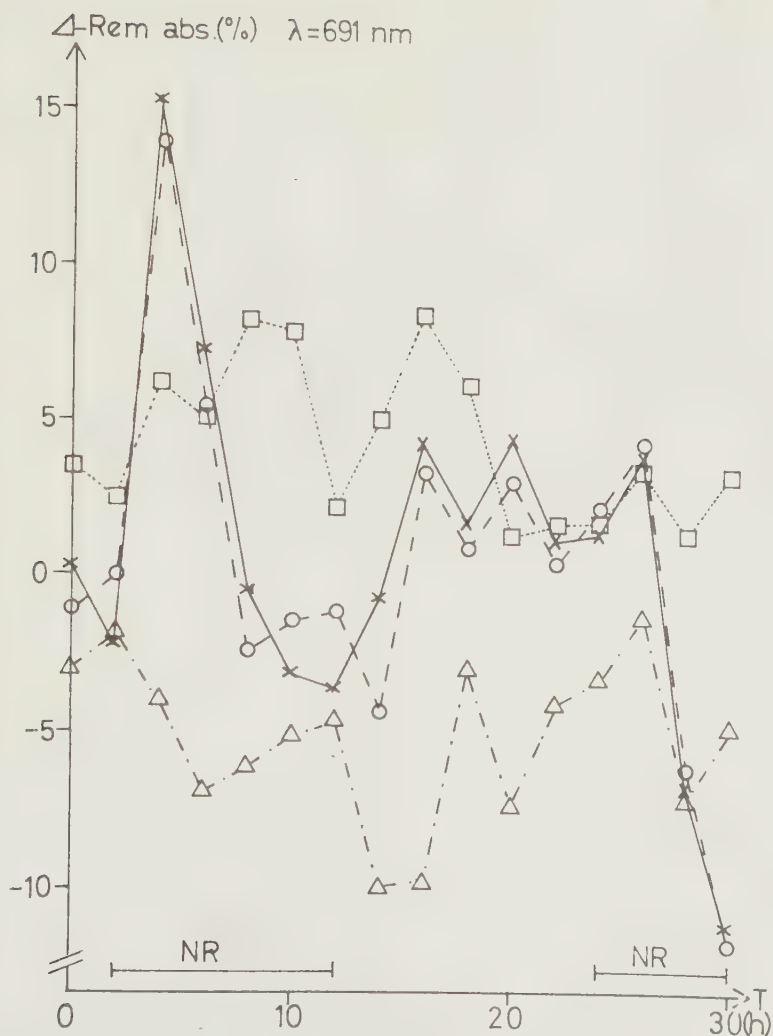


Abb. 39: Graphische Darstellung des zeitl. Verlaufs der Differenz der absol. Rotremission zwischen UV-bestr. Test- und unbestr. Vergleichsfeldern der VP 18. UV-Strahler Solar., Lokal. und T-Bestr.: x (P9) = oRü, 20 min; o (P10) = mRü, 16 min; □ (P13) = Geß, 12 min; △ (P14) = Geß, 8 min.

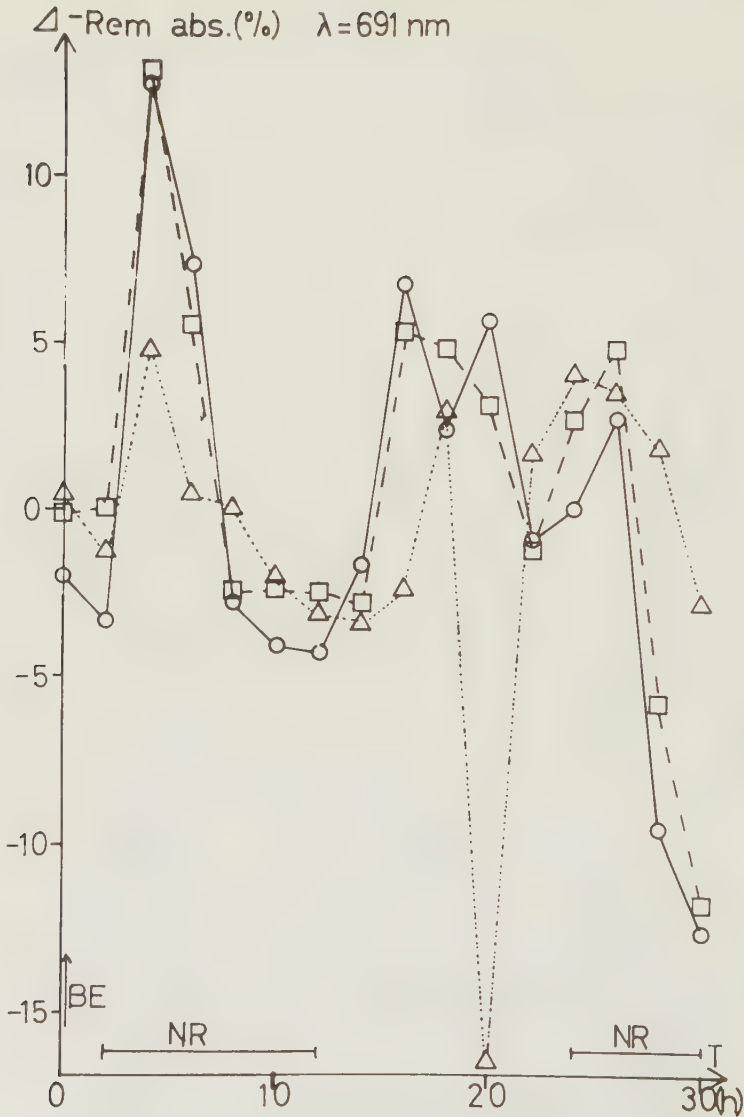


Abb. 40: Graphische Darstellung des zeitl. Verlaufs der Differenz der absol. Rotremission zwischen UV-bestr. Test- und unbestr. Vergleichsfeldern der VP 18. UV-Strahler Solar, Lokal. und T-Bestr.: o (P8) = oRü, 12 min; $\square$ (P11) = mRü, 4 min; $\triangle$ (P12) = uRü, 8 min.

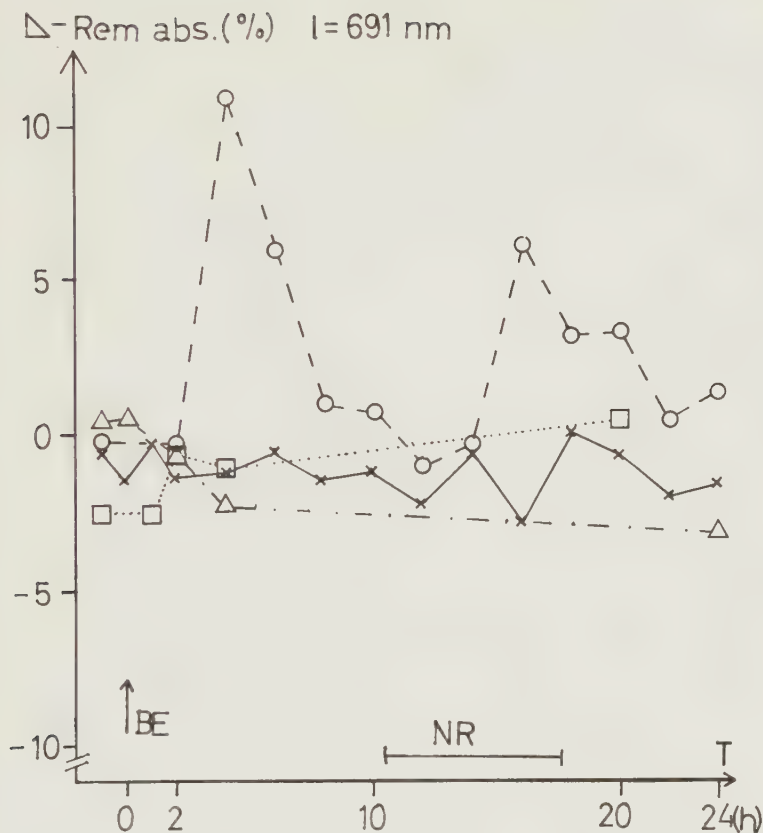


Abb. 41: Graphische Darstellung des zeitl. Verlaufs der Differenz der absol. Rotremission zwischen UV-bestr. Test- und unbestr. Vergleichsfeldern.

- x = arithm. Mittel der D-Rem von 3 Testfeldern der VP 3. T-Bestr. 15 min, Lokal.: oRü, uRü, Geß.
 - o = arithm. Mittel der D-Rem von 3 Testfeldern der VP 18. T-Bestr. 12-16 min, Lokal.: oRü, uRü, Geß.
 - = arithm. Mittel der D-Rem von 3 Testfeldern der VP 1. T-Bestr. 12-16 min, Lokal.: oRü, uRü, Geß.
 - Δ = arithm. Mittel der D-Rem von 3 Testfeldern der VP 2. T-Bestr. 12-20 min, Lokal.: oRü, uRü, Geß.
- UV-Strahler Solar.

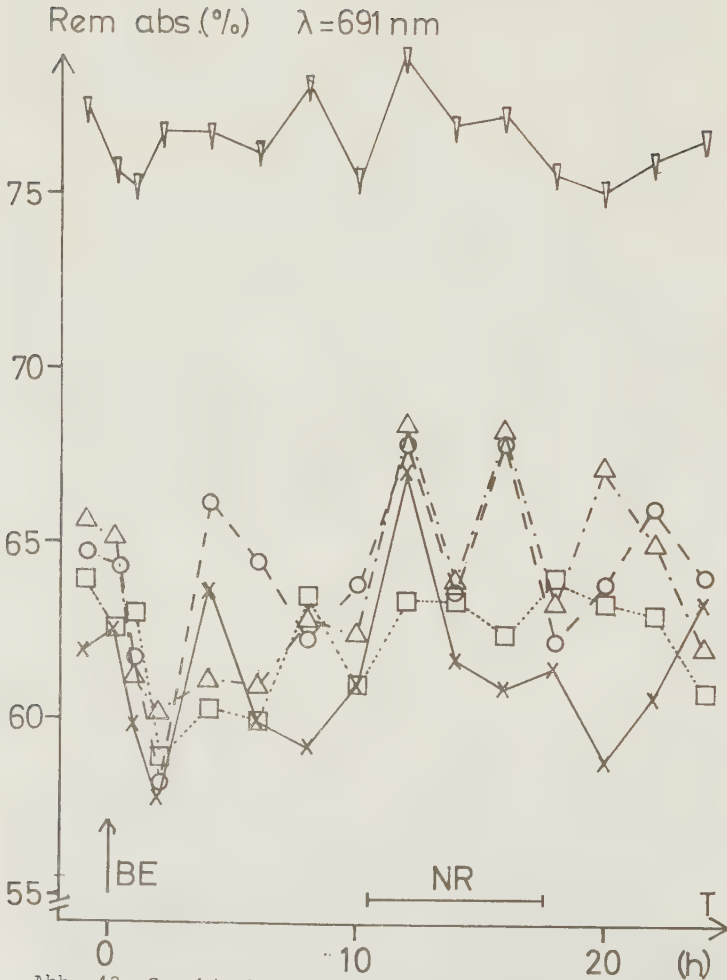


Abb. 42: Graphische Darstellung des zeitl. Verlaufs der absol. Rotremission von UV-bestr. Test- und unbestr. Vergleichsfeldern der VP 3.

Meßfeld	UV-Strahler	T-Bestr. (min)	Lokal.
x	Solar	30	oRü
o	∅	0	oRü
□	Solar	15	oRü
△	∅	0	oRü
▽	∅	0	Geß

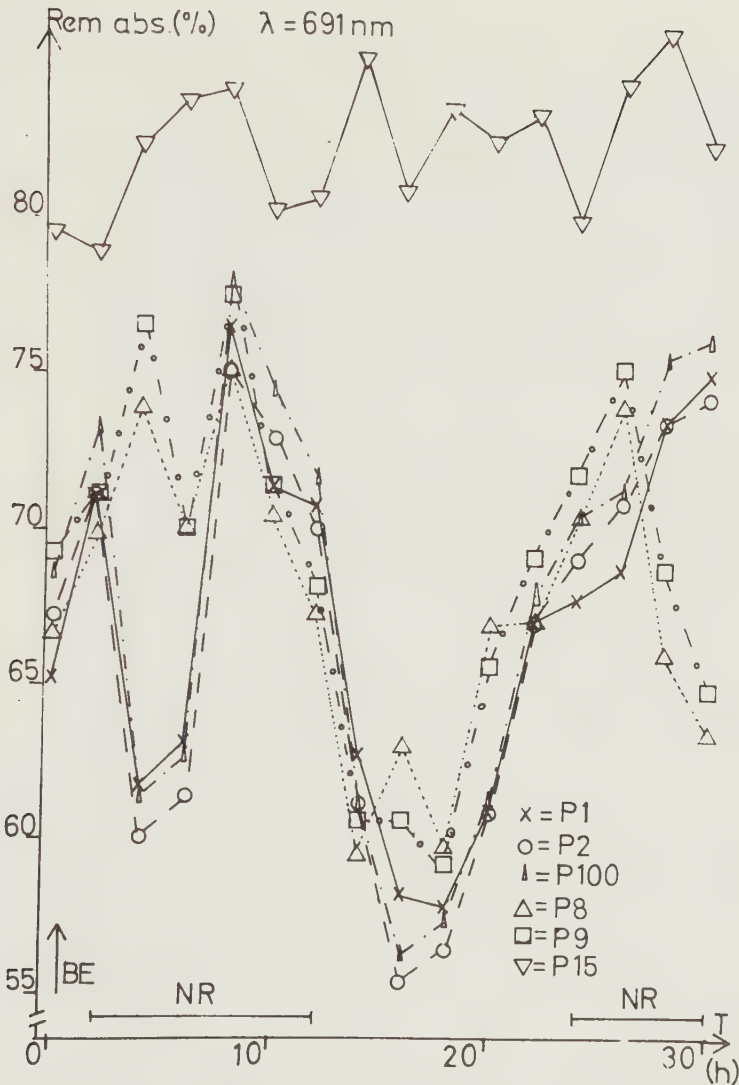


Abb. 43: Graphische Darstellung des zeitl. Verlaufs der absol. Rotremission von UV-bestr. Test- und unbestr. Vergleichsfeldern der VP 18.

Meßfeld	UV-Strahler	T-Bestr. (min)	Lokal.
x (P1)	Hafi	4	oRü
o (P2)	Hafi	6	oRü
l (P100)	∅	0	oRü
Δ (P8)	Solar	12	oRü
□ (P9)	Solar	20	oRü
∇ (P15)	∅	0	Geß

Für VP 3 läßt sich in Abb. 41 bei einer in der Gesamtsicht der Einzelwerte vorgenommenen Beurteilung eine im Zeitverlauf kontinuierliche Rotremissionsabnahme ca. 1 % in einem Zeitraum von 24 h feststellen. Bei VP 18 ist dagegen ein Anstieg der D-Remission im Zeitverlauf zu sehen bei recht erheblichen D-Remissionsänderungen von Messung zu Messung. Für VP 1 und VP 2 ist eine Zeitverlaufsbeurteilung der D-Remissionswerte bei nur 5 Messungen innerhalb von 20 bzw. 24 h wegen des Fehlens von Meßergebnissen zwischen 4 und 20 h nicht sinnvoll. Allerdings ist die Feststellung zulässig, daß die Streuung gegenüber VP 18 gering ist.

b) Maßzahlen der Häufigkeitsverteilung

Als beschreibende statistische Maßzahlen wurden der Mittelwert $\bar{x}$, die Standardabweichung s und der Variationskoeffizient VK der Folgemeßreihen UV-bestrahlter Testfelder der VP 3 und der VP 18 herangezogen. In Tabelle 11 sind diese statistischen Maßzahlen denen der unbestrahlten Vergleichsfelder gegenübergestellt.

Für sich betrachtet könnte aus der um durchschnittlich 1,50 niedrigeren durchschnittlichen Rotremission (%) der Testfelder gegenüber deren Vergleichsfelder bei VP 3 auf eine UV-induzierte Rotremissionsminderung im Zeitverlauf geschlossen werden. Es gilt jedoch zu beachten, daß, wie aus Tabelle 12 ersichtlich ist (Seite 95), bereits für den Zeitraum von 0 - 2 h die Testfelder von VP 3 eine um 1,65 niedrigere Rotremission (%) aufweisen als deren Vergleichsfelder. Ein UV-Effekt, sich äußernd als Pigmentierungszunahme oder als Erythem, wäre demnach als Ursache für die Rotremissionsänderung fraglich, den Grund in ursprünglich bestehenden Pigmentunterschieden von Test- und Vergleichsfeldern zu suchen, bietet sich an.

Umgekehrt kann aus der Tatsache, daß VP 3 anamnestisch nur schwache Bräunungsneigung hat und bei allen Testfeldern entsprechend der Grünremissionsergebnisse ausgeprägte UV-Erytheme entstanden, und dem oben dargestellten Rotremissions-

File- ter. (nm)	VP	Lokal	T-Bestr. (min)	$\bar{x}$	s	VK	T-Bestr. (min)	$\bar{x}$	s	VK	n
691	3	oRü	30	61,37	2,29	3,73	0	64,08	2,45	3,82	15
691	3	oRü	15	62,25	1,61	2,59	0	63,89	2,69	4,20	15
691	3	uRü	30	65,70	2,26	3,44	0	66,82	2,00	3,00	15
691	3	uRü	15	66,09	1,68	2,54	0	66,81	1,93	2,89	15
691	3	Geß	30	74,12	2,38	3,21	0	75,86	2,18	2,87	15
691	3	Geß	15	75,39	1,42	1,88	0	76,48	1,23	1,51	15
691	18	oRü	12	67,67	4,74	7,01	0	67,92	7,03	10,35	16
691	18	oRü	20	68,71	5,52	8,04	0				16
691	18	mRü	4	68,92	5,19	7,52	0	68,00	6,30	9,26	16
691	18	mRü	16	68,63	5,99	8,73	0				16
691	18	uRü	8	70,39	2,06	2,92	0	71,10	4,21	5,92	16
691	18	Geß	8	77,22	2,64	3,42	0	82,32	2,09	2,54	16
691	18	Geß	12	86,60	3,29	3,80	0				16

VP 3: $\bar{x}$ alle Testfelder - $\bar{x}$ alle Vergleichsfelder = -1,50

$\overline{VK}$ alle Testfelder - $\overline{VK}$ alle Vergleichsfelder = -0,15

VP 18: $\bar{x}$ alle Testfelder - $\bar{x}$ alle Vergleichsfelder = 0,08

$\overline{VK}$ alle Testfelder - $\overline{VK}$ alle Vergleichsfelder = -1,25

Tab. 11: Gegenüberstellung von $\bar{x}$, s u. VK der abs. Rotren. von Folgemaßreihen UV -bestr. Test- und unbestr. Vergleichsfelder der VP 3 und VP 18

verlauf geschlossen werden, daß mit dem Filter $\lambda = 691$ nm im Gegensatz zu $\lambda = 630$ nm (vergl. TRONNIER; 71) nicht mehr erfaßt werden.

Bei VP 18 weisen die Testfelder gegenüber ihren Vergleichsfeldern während der ersten beiden Stunden eine um durchschnittlich 1,72 niedrigere Rotremission (%) auf (vergl. Tab. 12). Eine deutliche Rotremissionsminderung über den gesamten Zeitverlauf zeigt nur das Testfeld der Lokal. Geß mit T-Bestr. 8 min.

Um die Beurteilung der Rotremissionsverläufe zu erleichtern, schlüsselten wir den Gesamtverlauf von D-Rem in Tabelle 12 für einzelne Abschnitte auf.

Ad Tab. 12:

- Kolonne 11: Differenz der durchschnittlichen D-Remission (%) des Zeitraumes 4-24 h und des Zeitraumes 0-2 h.
- Kolonne 12: Differenz der durchschnittlichen D-Remission (%) des Zeitraumes 16-24 h und des Zeitraumes 0-14 h.
- Kolonne 13: Differenz der durchschnittlichen D-Remission (%) des Zeitraumes 26-30 h und des Zeitraumes 0-24 h (nur VP 18).
- Kolonne 14: Differenz der durchschnittlichen D-Remission (%) des Zeitraumes 16-24 h und des Zeitraumes 0-2.
- Kolonne 15: Differenz der durchschnittlichen D-Remission (%) des Zeitraumes 4-30 h und des Zeitraumes 0-2 h (nur VP 18).
- Kolonne 16: Differenz der durchschnittlichen D-Remission (%) des Zeitraumes 26-30 h und des Zeitraumes 0-2 (nur VP 18).

Zu einer im Zeitverlauf erfolgenden Remissionsminderung eines Testfeldes gegenüber dem Vergleichsfeld und den dabei möglichen D-Remissionsverläufen stehen bei der Beurteilung von VP 3 und VP 18 die Kolonnen 11, 12 und 14 in folgender Beziehung:

Lokal	T-Bestr. (min)	D-Rem gesamt	D-Rem 0-2h	D-Rem 4-24h	D-Rem 0-14h	D-Rem 16-24h	D-Rem 0-24h	D-Rem 26-30h	6-5	8-7	10-9	8-5	D-Rem 4-30h	10-5
VP	1 2 3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
3 ORü	30	-2,54	-1,89	-2,78	-2,27	-3,10			-0,89	-0,83		-1,21		
3 ORü	15	-1,69	-0,99	-1,94	-1,29	-2,48			-0,95	-1,19		-1,49		
3 URü	30	-1,12	-1,82	-0,84	-1,71	0,06			0,98	1,77		1,88		
3 URü	15	-0,89	-0,39	-1,07	-0,79	-1,10			-0,68	-0,21		-0,70		
3 Geß	30	-1,73	-3,46	-1,10	-1,75	-1,71			2,36	0,04		1,75		
3 Geß	15	-1,09	-1,35	-0,99	-1,20	-0,77			-0,36	0,43		0,58		
18 ORü	12	-2,46	-2,68	-2,69	0,21	1,27	1,72	-6,52	-0,01	0,06	-8,24	3,95	2,58	-3,84
18 ORü	20	0,79	-0,84	3,15	1,67	2,65	2,04	-4,69	3,99	0,98	-6,73	3,49	1,86	-3,85
18 mRü	4	5,10	-0,07	2,56	1,04	2,93	1,11	-1,45	2,63	1,89	-2,56	3,00	5,90	-1,38
18 mRü	16	0,34	-0,56	2,59	1,13	2,03	1,46	-4,55	3,15	0,90	-6,01	2,59	1,04	-3,99
18 URü	8	1,28	-0,42	2,39	-0,51	4,39	1,11	0,84	2,81	4,90	-0,53	4,81	1,94	1,26
18 Geß	8	-5,11	-2,32	-8,18	-5,14	-5,49	-5,28	-4,36	-5,86	-0,35	0,92	-3,17	-3,18	-2,04
18 Geß	12	4,28	3,03	6,93	5,07	3,91	4,62	2,77	3,90	-1,16	-1,85	0,88	1,42	-0,26

Tab. 12: Durchschnittliche absol. D-Remission (%) von UV-bestrahlten Testfeldern
bei $\lambda = 691$ nm.

aa) lineare Remissionsminderung:

$$O > \text{Kol. 11} = \text{Kol. 12} ; \text{Kol. 11} = \text{Kol. 12} > \text{Kol. 14}$$

bb) Remissionsminderung mit abnehmendem Gradienten:

$$O > \text{Kol. 12} > \text{Kol. 11} > \text{Kol. 14}$$

cc) Remissionsminderung mit zunehmendem Gradienten:

$$O > \text{Kol. 11} > \text{Kol. 12} > \text{Kol. 14}$$

dd) Remissionsminderung mit terminaler Remissionssteigerung,

$$\text{wobei } |\text{Remissionsminderung}| > |\text{Remissionssteigerung}| :$$

$$O > \text{Kol. 14} > \text{Kol. 11} ; \text{Kol. 12} > \text{Kol. 14}$$

Entsprechend dieser Kriterien finden wir bei folgenden Testfeldern eine Remissionsminderung vor:

VP	Lokal.	T-Bestr.	Typ der Remissionsminderung
3	oRü	30 min	Gradient abnehmend
3	oRü	15 min	Gradient zunehmend
3	uRü	15 min	Gradient abnehmend
18	Geß	8 min	mit terminaler Remissionssteigerung

Grünremissionsminderungen gleicher Charakteristik liegen bei den Testfeldern

VP 3 Lokal. oRü, T-Bestr. 30 min und

VP 18 Lokal. Geß, T-Bestr. 8 min vor.

Wie schon in 1.3.2.2. beschrieben, konnte bei VP 18 an 6 von 7 Testfeldern für den Zeitraum 26-30 h eine Rotremissionsminderung festgestellt werden. Wegen der sehr großen Streuung der Rotremissionswerte in den Folgemesreihen unbestrahlter Vergleichsfelder von VP 18 ist jedoch große Zurückhaltung bei Aussagen über etwaige UV-bedingte Pigmentierungsänderungen geboten.

Bei VP 3 ist kein Zusammenhang zwischen der Rotremissionsminderung der Testfelder und deren UV-Bestrahlungszeit zu erkennen. Ein Zusammenhang zwischen der anatomischen Lokalisation der Testfelder und der Rotremission könnte insofern gegeben sein, daß die Wahrscheinlichkeit einer Rotremissionsminderung umso größer ist, je kranialer ein Testfeld am dorsalen Rumpf liegt.

c) Spannweiten der Rotremissionswerte

Die Spannweiten der Rotremissionswerte, während der einzelnen Meßzeitpunkte im Versuchsverlauf bestimmt, sind in den Abb. 44 und 45 dargestellt. Die Mengen der Folgemaßreihen, aus denen die Rotremissionswerte für jeden einzelnen Meßzeitpunkt zur Bildung der Spannweiten entnommen wurden, sind gebildet aus:

- aa) UV-bestrahlten Test- und unbestrahlten Vergleichsfeldern nur einer und gleicher anatomischen Lokalisation,
- bb) UV-bestrahlten Testfeldern verschiedener Lokalisation,
- cc) unbestrahlten Vergleichsfeldern verschiedener Lokalisation.

Die Rotremissionsspannweiten der VP 18 sind im Durchschnitt deutlich größer, variieren in ihrer Spannweite stärker und zeigen deutlich höhere Niveau-Schwankungen in der Rotremissionsskala als dies bei VP 3 zu sehen ist.

Die geringsten Spannweiten weisen bei VP 3 und VP 18 gleichermaßen die Rotremissionswerte von Folgemaßreihen gleicher Lokalisation auf, jeweils in der Nähe der Untergrenze aller Remissionswerte angesiedelt, die zu einem bestimmten Meßzeitpunkt ermittelt wurden.

Die Spannweiten bestrahlter Testfelder fallen im Zeitverlauf bei VP 3 gegenüber den Vergleichsfeldern in der Rotremissionsskala geringfügig ab, bei VP 18 dagegen ist keine Tendenz der Rotremissionsänderung der Test- gegenüber der Vergleichsfelder erkennbar.

Aus den Beobachtungen können folgende Schlüsse gezogen werden:

Die Präzision der Meßanordnung oder des Meßvorganges oder von beiden ist bei der VP 3 größer als bei der VP 18 (geringere Variation der Spannweiten bei der VP 3).

Eine Rotremissionsminderung als Bestrahlungsfolge ist im Zeitverlauf von 24 h bei der VP 18 nicht, bei der VP 3 in geringem Ausmaß erkennbar.

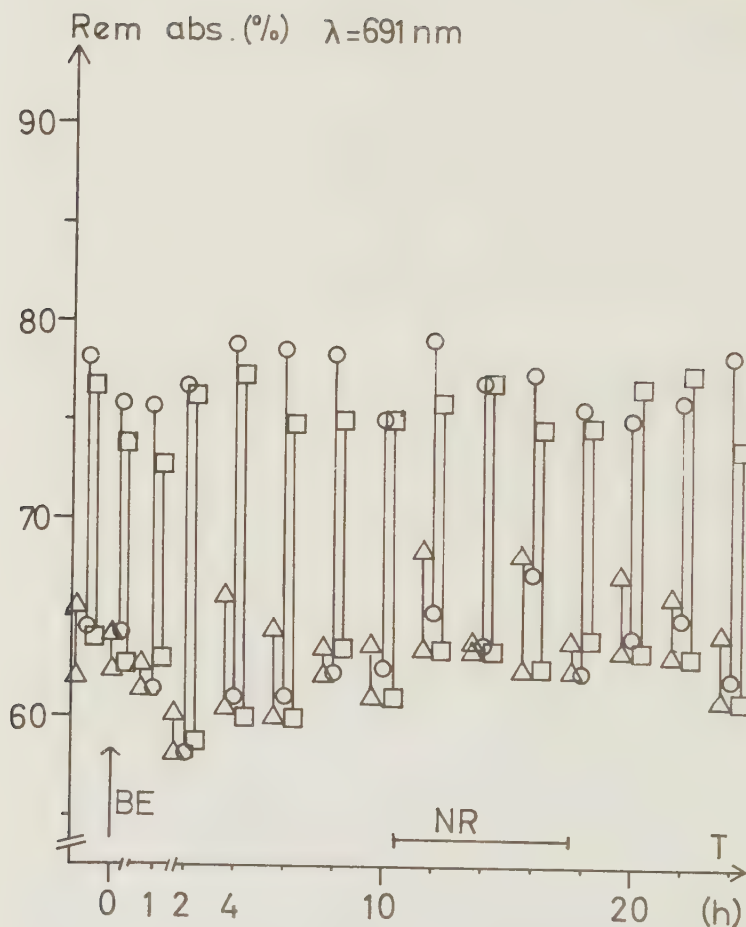


Abb. 44: Graphische Darstellung der Spannweiten der Rotremissionswerte von Remissionsmessungen bei VP 3.

- Δ = UV-bestr. (UV-Strahler Solar., T-Bestr. 15 min)
Test- und unbestr. Vergleichsfelder gleicher Lokal. (oRü)
- $\square$ = UV-bestr. (UV-Strahler Solar., T-Bestr. 15 min)
Testfelder verschiedener Lokal. (oRü, uRü, Geß)
- $\circ$ = unbestr. Vergleichsfelder verschiedener Lokal.

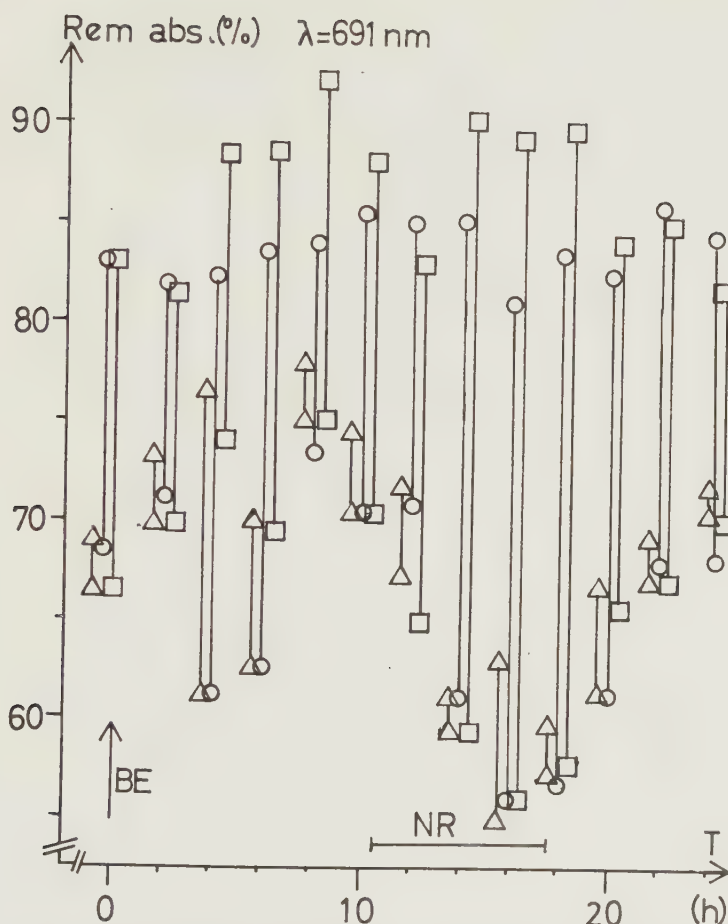


Abb. 45: Graphische Darstellung der Spannweiten der Rotremissionswerte von Remissionsmessungen bei VP 18.

- $\triangle$ = UV-bestr. (UV-Strahler Solar., T-Bestr. 12-20 min)
Test- und unbestr. Vergleichsfelder gleicher Lokal. (oRü)
- $\square$ = UV-bestr. (UV-Strahler Solar., T-Bestr. 12-20 min)
Testfelder verschiedener Lokal. (oRü, uRü, Geß)
- $\circ$ = unbestr. Vergleichsfelder verschiedener Lokal. (oRü, uRü, Geß)

Eindrucksvoll ist die Abhängigkeit der Rotremission von der Lokalisation: Sowohl VP 3 als auch VP 18 hatten noch, wenn auch nur geringfügig und weitaus schwächer als VP 4, eine Restbräune vom letzten Sommer an Schultern und Rücken, nicht aber am Gesäß. Dementsprechend ist die Spannweite der Messungen an Meßfeldern dieser anatomischen Lokalisationen groß, während die Spannweite der Test- und Vergleichsfelder e i n e r Lokalisation klein ist.

3.3.3. Vergleich von Rot- und Grünremission unbestrahlter Vergleichsfelder

Remissionsmittelwerte, Remissionsspannweite sowie der Quotient der Remissionsmittelwerte von Grünremission und Rotremission sind in Abb. 46 dargestellt (Seite 102 und 103).

VP 5 ist ein schwarzbrauner zentralafrikanischer Neger, die übrigen VP sind hellhäutige Mitteleuropäer.

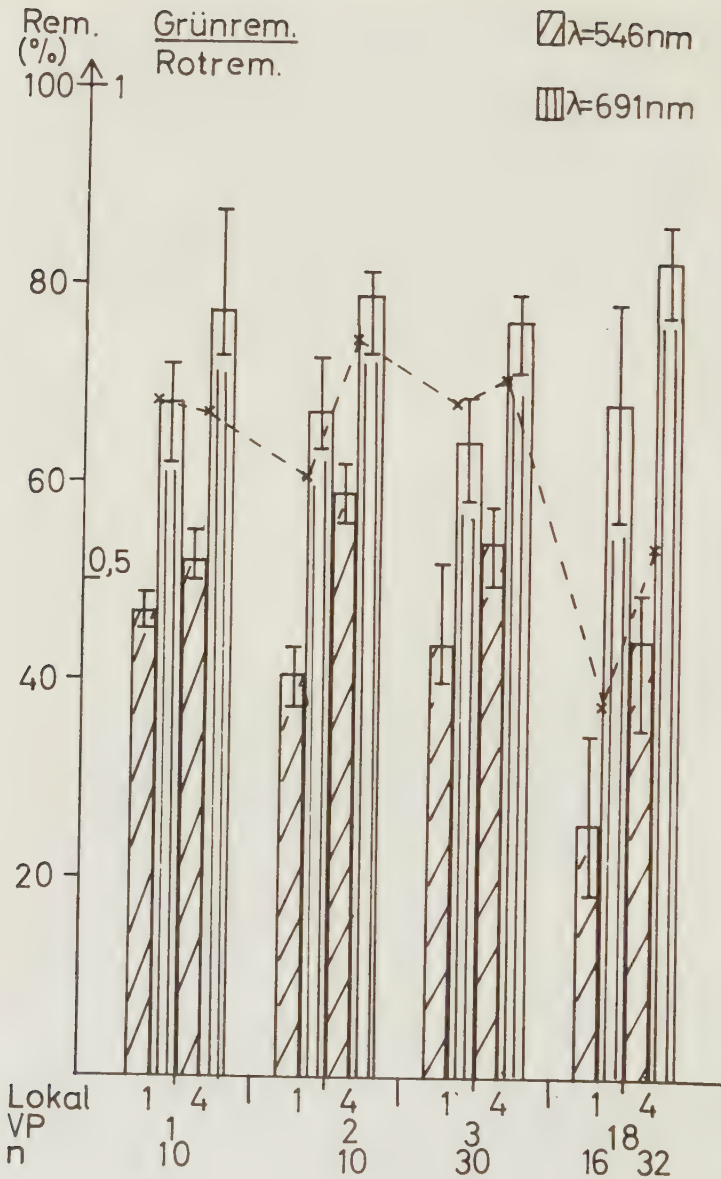
Die Vergleichsfelder der Lokalisation oRü(1) remittieren bei den mitteleuropäischen Versuchspersonen sowohl bei der Rot- als auch der Grünremission schwächer als die Felder der Lokalisation Geß(4). Die Rotremissionsunterschiede, abhängig von der Lokalisation, sind bei allen VP deutlich. Die lokalisationsabhängigen Grünremissionsunterschiede sind bei VP 2, 3, 4, 18 deutlich, bei VP 1 gering, bei VP 5 sehr gering (oRü-Geß) bis mäßig (Geß-plama), wobei sich die Rotremission gegensinnig verhält ($\text{Rotrem}_{\text{oRü}} > \text{Rotrem}_{\text{Geß}}$). Der lokalisationsabhängige, d.h. pigmentierungsabhängige Remissionsunterschied ist bei den hellhäutigen VP in der Grünremission größer als in der Rotremission, bei VP 5 ist das Verhältnis umgekehrt. Unterschiede des Pigmentierungsgrades spiegeln sich also bei schwacher bis mittelstarker Pigmentierung stärker in Remissionsveränderungen bei $\lambda = 546 \text{ nm}$ als bei $\lambda = 691 \text{ nm}$ wider, während bei extrem pigmentierter Haut nur noch die Remission bei $\lambda = 691 \text{ nm}$ genügend auf Pigmentunterschiede reagiert. Immerhin drückt sich der mit freiem Auge nur schwer differenzierbar stärkere Pigmentierungsgrad des Gesäßes gegenüber der Schulter bei VP 5 in der Rotremission noch sehr deutlich aus.

Gleichsam als Kontrolle haben wir bei VP 5 auch die Remission der Handfläche gemessen. Der relativ schwache Pigmentierungsgrad zeigt sich in der hohen Rotremission, an der gegenüber der Rotremission sehr niedrigen Grünremission könnte die anatomisch bedingte starke Durchblutung der Handfläche mitbeteiligt sein. Auffällig ist der im Vergleich mit den anderen mitteleuropäischen VP niedrige Grün-Rotremissions-Quotient bei der VP 18. Entweder hatte VP 18 eine stärkere Hautdurchblutung oder, was wahrscheinlicher ist, der Meßstandard hatte eine höhere Grünabsorption als angegeben.

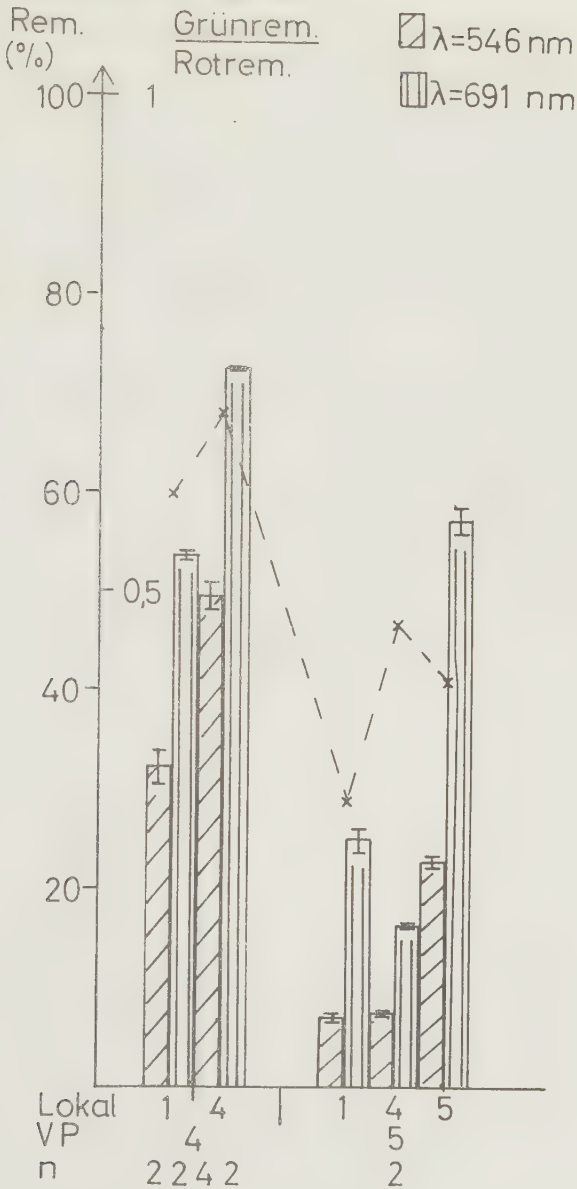
Abb. 46, Seite 102 und 103:

Remissionsmittelwerte, Remissionsspannweiten ($Rem_{max} - Rem_{min}$) der absoluten Remission von unbestrahlten Meßfeldern sowie der Quotient von den Remissionsmittelwerten der Grün- und Rotremission mit Angabe der Versuchsperson (VP), der anatomischen Lokalisation (Lokal) und der Anzahl der Einzelmessungen (n).

Abb. 46



Fortsetzung von Alb. 46



3.3.4. Beeinflussung der Grünremissionsmessungen durch den Auflagedruck des Meßkopfes

Abb. 47 zeigt das Ergebnis von Grünremissionsmessungen, die an 5 Meßfeldern verschiedener Versuchspersonen bei steigendem Auflagedruck vorgenommen wurden.

Der Quotient aus der in der Abszisse angegebenen Gewichtskraft G in Newton (N) und der Auflagefläche des Meßkopfes von $3,80 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ ergibt den Auflagedruck. Demnach liegt der Meßkopf bei einer Auflagegewichtskraft von $0,1 \cdot 9,81 \text{ N}$ mit einem Druck von 2580 Pascal (Pa) bzw. 25,80 mbar am Meßfeld auf.

Erwartet worden war eine mit zunehmendem Auflagedruck einhergehende Grünremissionszunahme. Die Ergebnisse aber stellen sich folgendermaßen dar:

Meßfelder ohne UV-Erythem:

VP 3, Lokal.Geß, T-Bestr. 0 min: Remissionsabfall bis $0,3 \cdot 9,81 \text{ N}$, anschließend nahezu konstanter Remissionsverlauf.

VP 4, Lokal.uRü, T-Bestr. 0 min: Remissionsabfall bis $0,3 \cdot 9,81 \text{ N}$, Remissionssteigerung ab $0,4 \cdot 9,81 \text{ N}$.

VP 5 (Neger), Lokal.Geß, T-Bestr. 0 min: kontinuierlicher Remissionsabfall.

Meßfelder mit UV-Erythem:

VP 1, Lokal.uRü, T-Bestr. 20 min: Remissionsabfall bis $0,2 \cdot 9,81 \text{ N}$, ab $0,3 \cdot 9,81 \text{ N}$ Remissionsanstieg.

VP 3, Lokal.Geß, T-Bestr. 30 min: Remissionsanstieg ab $0,1 \cdot 9,81 \text{ N}$, nach $0,6 \cdot 9,81 \text{ N}$ Remissionsabfall.

Eine generelle Remissionszunahme bei steigendem Auflagedruck ist nicht feststellbar.

Zwei Kurvenverläufe zeigen keine Anstiegstendenz: Der Kurvenverlauf bei VP 5 ist kontinuierlich abnehmend, der Kurvenverlauf von VP 3, Lokal.Geß, T-Bestr. 0 min, bleibt nach anfänglichem Remissionsabfall nahezu konstant.

Allein der Remissionsverlauf vom Meßfeld der VP 3, Lokal.Geß, T-Bestr. 30 min, mit ausgeprägtem UV-Erythem zeigt die erwartete Remissionszunahme ab $0,1 \cdot 9,81 \text{ N}$, sieht man von der Remission bei $0,05 \cdot 9,81 \text{ N}$ ab, bei deren Messung die vorschriftsmäßige Auflage des Meßkopfes am Meßfeld Schwierigkeiten bereitete.

Δ -Rem abs.(%) $\lambda=546\text{nm}$

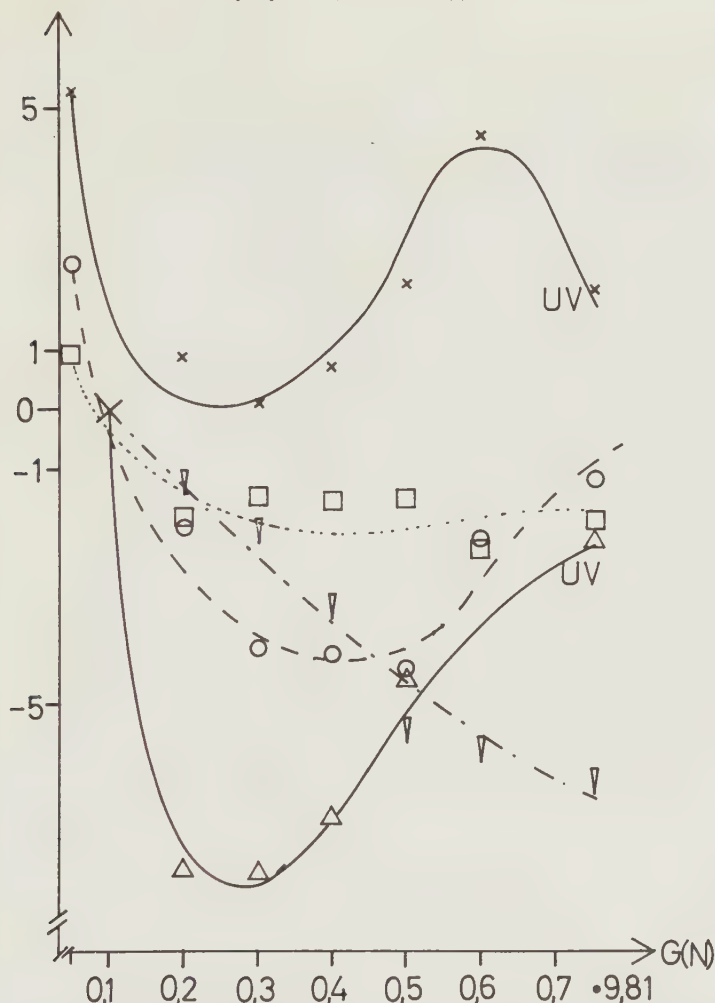


Abb. 47: Graphische Darstellung der Differenz der absoluten Grünremission, bestimmt unter der in der Abszisse angegebenen Auflagegewichtskraft G , und der absoluten Grünremission, bestimmt unter der Auflagegewichtskraft $G = 0,1 \cdot 9,81 \text{ N}$.

- = VP 3, Lokal.Geß, T-Bestr. 0 min, T-Zeitverlauf 18 h
- o = VP 4, Lokal.uRÜ, T-Bestr. 0 min, T-Zeitverlauf 0 h
- ▽ = VP 5, Lokal.Geß, T-Bestr. 0 min, T-Zeitverlauf 0 h
- △ = VP 1, Lokal.uRÜ, T-Bestr. 20 min, mit UV-Erythem, T-Zeitverlauf 24 h
- x = VP 3, Lokal.Geß, T-Bestr. 30 min, mit UV-Erythem, T-Zeitverlauf 18 h

4. DISKUSSION

4.1. Präzision der Remissionsmeßapparatur unter Anwendung der Meßvorschrift

Die in 3.2. beschriebenen Ergebnisse zur Reliabilität, ermittelt am nicht belebten Objekt, dokumentieren einen durchschnittlichen Variationskoeffizienten von ca. 1,5 %. Nach Literaturangaben schneiden das "Göttinger" Gerät mit einem Fehler < 1 % (TRONNIER u. WAGENER; 75), das Elrepho und das 45° Remissionsphotometer nach Schulz-Bohndorf mit einem Fehler von 0,25 % (SCHULZ u. BOHNDORF) deutlich besser ab. Diese Literaturangaben beziehen sich auf den theoretischen Fehler. HEITE u. WEBER (23) ermittelten für das Elrepho beim praktisch-routinemäßigen Gebrauch einen VK zwischen 1 und 2 % mit $VK_{\max} = 2,5$ %.

Die Ergebnisse in 3.3.1. sind nicht direkt mit dem Wert von HEITE u. WEBER (23) vergleichbar, da es sich in unserem Fall nicht um Mehrfachmessungen zu einem Zeitpunkt handelt, sondern um Folgemessungen im Zeitverlauf über mehrere Stunden. Betrachten wir den durchschnittlichen Variationskoeffizienten dieser Folge-meßreihen von VP 3 in Tabelle 8 und berücksichtigen wir dabei die miterfaßten tagesrhythmischen Schwankungen von 2 - 3 % (BAUDACH u. SCHREIBER; 3), können wir feststellen:

Der Variationskoeffizient, resultierend im routinemäßigen Gebrauch liegt bei unserem Gerät (VP 3)

für $\lambda = 546$ nm bei ca. 2,5 % ($4,02 \%(\overline{VK}) - 1,5 \%$ (tagesrhythm. Schwankungen))

für $\lambda = 691$ nm bei ca. 2 % ($3,05 \%(\overline{VK}) - 1 \%$ (tagesrhythm. Schwankungen))

Wir berücksichtigten dabei, daß sich die tagesrhythmischen Schwankungen in stärkerem Ausmaß bei der Grünremission zeigen (BAUDACH u. SCHREIBER; 3).

Der durchschnittliche Variationskoeffizient der Folgemessungen unbestrahlter Vergleichsfelder der VP 18 unter Anwendung

des ursprünglichen Geräteaufbaus ohne standardisierte Meßvorschrift liegt bei $\lambda = 546 \text{ nm}$ um ca. 7 (%), bei $\lambda = 691 \text{ nm}$ um ca. 3 (%) höher als bei VP 3.

Den Grund für die bei VP 18 höheren Variationskoeffizienten allein in größeren tagesrhythmischen Schwankungen suchen zu können ist nicht wahrscheinlich, denn VP 1 und VP 2 weisen Variationskoeffizienten auf, die bei $\lambda = 546 \text{ nm}$ VP 3 noch unterschreiten und bei $\lambda = 691 \text{ nm}$ noch ca. 1,5 (%) unter VP 18 liegen. Wären primär tagesrhythmische physiologische Schwankungen der Remission bei VP 18 für den höheren VK der Folgemeßreihen verantwortlich, müßten sich bei einer präzisen Meßmethode die lokalisationsbedingten Rotremissionsspannweiten und davon vor allem die der unbestrahlten Vergleichsfelder in ihrer Spannweite konstanter verhalten als dies in Abb 45 der Fall ist. Bei VP 18 sind Spannweiten von 20 % absoluter Rotremission keine Rarität. Ein Rotremissionsunterschied dieser Größenordnung würde dem Pigmentierungsunterschied der Unterarmvolarseite eines blassen Europäers und eines mitteldunklen, kaffeebraunen Negers (PFLEIDERER; 55) entsprechen. Pigmentierungsunterschiede dieser Größenordnung, seien sie tagesrhythmischer Art oder lokalisationsbedingt, sind bei einer Versuchsperson unvorstellbar. Auf diesem Hintergrund sind die Größe der Variabilität der Rotremission, ihr Ausmaß selbst sowie die erheblichen Schwankungen der Spannweiten auf der Rotremissionsskala als Ausdruck der Instabilität des Meß-Systems zu werten. Abb. 44 zeigt für VP 3, also unter Anwendung der geänderten Remissionsmeßapparatur nach Meßvorschrift die Rotremissionsspannweiten geringer, konstanter und auf der Rotremissionsskala weniger schwankend.

Die Kurvenverläufe der nichtbestrahlten Vergleichsfelder von VP 3 (Abb. 42) sind den von BAUDACH u. SCHREIBER (3) beschriebenen ähnlich, für die Kurvenläufe von VP 18 sind in der uns bekannten Literatur keine vergleichbaren auffindbar.

Im zeitlichen Verlauf der Folgemeßreihen bestrahlter Testfelder macht sich die gesteigerte Präzision der Meßapparatur nach deren Änderung und unter Anwendung der Meßvorschrift ebenfalls deutlich bemerkbar:

Bei VP 3 ergeben erythembedingte Grünremissionsänderungen das typische wellenförmige Bild, bei VP 18 dagegen haben die Grünremissionsänderungen eher sägezahnähnlichen Charakter.

Nun mag es widersprüchlich erscheinen, daß wir in 1.3.2.2. vor allem die mangelhafte Präzision der übernommenen Remissionsmeßapparatur bei Rotremissionsmessungen beklagten, obwohl, wie wir gesehen haben, die Präzision für den Rotremissionsbereich deutlich höher als für den Grünremissionsbereich lag. Es gilt aber zu bedenken, daß Unterschiede des Hautrötungs- und bräunungsgrades, unabhängig von deren Genese, bei weitem höhere Grünremissionsunterschiede als Rotremissionsunterschiede bewirken, für Rotremissionsmessungen also eine hohe Präzision in wesentlich bedeutenderem Maße erforderlich ist.

4.2. Validität der Remissionsmessungen

Die Richtigkeit der ermittelten Remissionswerte ist gleichbedeutend mit der Größe des systematischen Fehlers. Systematische Fehler sind möglich durch unsachgemäße Kalibrierung, bei fehlerhafter Bestimmung der Remission des Meß-Standards gegenüber Ideal-Weiß (in unserem Falle Magnesiumoxid) und bei der Verwendung von breitbandigen Filtern bzw. fehlerhafter Spektralanalyse der Filter.

a) Grünremission ($\lambda = 546 \text{ nm}$)

Mit der geänderten Remissionsmeßapparatur wurden in den Grünremissionsmessungen von unbestrahlten Vergleichsfeldern als durchschnittliche absolute Grünremission ermittelt:

oberer Rücken, VP 1-4	40,7 %
oberer Rücken, VP 4	32,2 %
Gesäß, VP 1-4	49,8 %
Gesäß, VP 5 (Neger)	7,7 %

Vor Änderung der Meßapparatur, also bei Methodenstand 1,
wurde als durchschnittliche absolute Grünremission gemessen:
oberer Rücken, VP 18 25,6 %
Gesäß, VP 18 44,1 %

Die Grünremission zeigt bei allen hellhäutigen VP eine Zunahme von kranial nach kaudal, was der beobachteten Pigmentierungsabnahme entspricht. Bei der dunkelhäutigen VP ist die Grünremission ebenfalls am oberen Rücken am niedrigsten, am unteren Rücken aber höher als am Gesäß, während mit dem Auge und auch durch die Rotremissionsmessung eine Zunahme der Pigmentierung von kranial nach kaudal festzustellen war. Die stärkste Pigmentierung der hellhäutigen VP weist VP 4 am oberen Rücken auf.

Die Beurteilung der Richtigkeit der Remissionsmessungen gestaltet sich schwierig. In der Literatur wird im wesentlichen nur helle Haut mit und ohne Erythem von pigmentierter Haut und der Haut von Negern unterschieden. TRONNIER u. WAGENER (75) belegen zwar die Validität ihres Gerätes durch Messungen geeichter Grauskalen und sehen dadurch auch für die Hautmessungen die Brauchbarkeit ihres Gerätes als gegeben. Unberücksichtigt bleibt jedoch die Filterbeschaffenheit in ihrem Einfluß auf die Remissionsgröße bei der Messung von farbigen Objekten. Geeichte Farbtafeln würden einen Vergleich der verschiedenen Remissionsmeßapparaturen und Aussagen über die Richtigkeit ihrer Ergebnisse erleichtern. Zudem ist unser Kollektiv von Versuchspersonen klein, Versuchspersonen mit blasser Haut überwiegen. Beim Vergleich mit den in Tabelle 13 zusammengefaßten Remissionswerten aus der Literatur kommen unsere Grünremissionswerte den von BODE (7) angegebenen am nächsten, erscheinen aber gegenüber den meisten Autoren als hoch. Zu berücksichtigen bleibt, daß unsere Remissionswerte in % auf Magnesiumoxid (unter Verwendung einer frisch mit Magnesiumoxid bedampften Glasplatte als Standard der absoluten Remission) bezogen sind. PFLEIDERER (55) weist darauf hin, daß selbst im sichtbaren Bereich bei der Remissionsmessung von

Autor

BAUDACH u.SCHREIBER (3)	540 nm	690 nm
	33 %	57 %
BÜTTNER (11)	545 nm	690 nm
helle Haut(mittel)	42 %	58 %
extrem helle Haut	60 %	74 %
extrem rote,nicht braune Haut	38 %	73 %
extrem braune Haut	18 %	33 %
BÖHNE u.SCHREIBER (nach GEIGER (19))	545 nm	690 nm
helle Haut	29 %	51 %
gerötete Haut	18 %	46 %
BODE (7)	545 nm	690 nm
helle Haut	55 %	57 %
pigmentierte Haut	9 %	14 %
DORNO (13)	580 nm	640 nm
rothaarig,unpigmentierter Typ	66 %	91 %
brünett,pigmentierter Typ	37 %	68 %
HEITE u.WEBER (23)	530 nm	700 nm
blasse Haut	40 %	60 %
sonnengebräunte Haut	26 %	48 %
PFLIEDERER (55)	545 nm	690 nm
helle Haut ohne Erythem	37 %	58 %
helle Haut mit Erythem	26 %	58 %
pigmentierte Haut	26 %	50 %
Neger (kaffeebraun)	15 %	34 %
TRONNIER (72)	500 nm	800 nm
blasse Haut	39 %	59 %
pigmentierte Haut		49 %

Tabelle 13: Literaturübersicht der Remissionswerte der Haut

MgO der Idealwert nicht ganz erreicht wird und sowohl gegen den UV-Bereich als auch gegen den Infrarot-Bereich die Abweichungen vom Idealwert ansteigen. PFLEIDERER (55) bezieht sich zwar auf MgO, verwendet aber zur Eichung gegen MgO ge-
eichte Glanzkacheln. BÜTTNER (11) nimmt für MgO einen Re-
missionswert von 95 %, HEITE u. WEBER (23) und BODE (6)
setzen MgO einer Remission von 100 % gleich. TRONNIER (71)
bezieht sich auf Barytweiß.

b) Rotremission ($\lambda = 691 \text{ nm}$)

Mit der geänderten Remissionsmeßapparatur wurden an unbe-
strahlten Vergleichsfeldern als durchschnittliche absolute
Rotremission gemessen:

oberer Rücken, VP 1-4	63,1 %
oberer Rücken, VP 4	53,3 %
Gesäß, VP 1-4	76,2 %
Gesäß, VP 5	16,4 %

Vor Änderung der Meßapparatur wurde für VP 18 gemessen:

oberer Rücken, VP 18	67,9 %
Gesäß, VP 18	82,3 %

Die Rotremission zeigt bei den hellhäutigen VP eine Zunahme
von kranial nach kaudal, bei der dunkelhäutigen VP eine
Abnahme von kranial nach kaudal. Dementsprechend war mit
freiem Auge bei den hellhäutigen VP eine Pigmentierungs-
abnahme von kranial nach kaudal, bei der dunkelhäutigen VP
eine Pigmentierungszunahme zu beobachten.

Die bei der dunkelhäutigen VP am schwächsten pigmentierte
Hautfläche, die Handfläche, ergab eine Rotremission von 57,2 %.
Ein direkter Zusammenhang von Pigmentierungszunahme und
Rotremissionsabnahme liegt zweifelsfrei vor.

Der Vergleich unserer Rotremissionsergebnisse mit den in der
Literatur angegebenen Rotremissionswerten (Tabelle 13) ist
nur unter den bei der Besprechung der Grünremission aufge-
zeigten Vorbehalten möglich.

Wie schon angedeutet, muß für die Rotremissionsmessungen von
MgO eine noch größere Abweichung vom Idealwert angenommen

werden als für die Grünremission. Der Faktor, um den die Rotremissionswerte in % von MgO höher sind als die tatsächliche absolute Rotremission, ist folglich für die Rotremission noch größer als dies schon bei der Grünremission der Fall ist.

Es bleibt zu berücksichtigen, daß sich keine unserer hellhäutigen VP unmittelbar vor den Remissionsmessungen einer Bräunungsprozedur unterzogen hatte. Trotzdem liegt VP 4 mit 53,3 % für das Meßfeld am oberen Rücken, also der am stärksten pigmentierten Hautfläche nur um ca. 5 % und damit nur unwesentlich über den von PFLEIDERER (55), HEITE u. WEBER (23) und TRONNIER (72) angegebenen Rotremissionswerten für pigmentierte Haut. Die Rotremission der blassen Meßfelder unserer hellhäutigen Testpersonen liegt deutlich über dem Gros der in der Literatur angegebenen Rotremissionswerte. Immerhin gibt aber BÜTTNER (11) für extrem helle Haut eine Rotremission von 74 % an, ein Remissionswert, der den von uns für die Gesäßhaut bestimmten Remissionswert um nur 2 % unterschreitet. Die Rotremission des am stärksten pigmentierten Meßfeldes unserer dunkelhäutigen Versuchsperson entspricht in etwa der von BODE (7) angegebenen Rotremission und ist um ca. 18 % niedriger als die von PFLEIDERER (55) für einen mittelbraunen Neger angegebene. Zusammenfassend ist bei unserer Meßapparatur die Validität in einem Ausmaß gegeben, das es erlaubt, UV-induzierte Änderungen des Rötungs- und Bräunungsgrades der Haut zu erfassen.

c) Verhältnis von Grünremission und Rotremission
Aus Abb. 46, Seite 102 und 103, ist ersichtlich, daß im wesentlichen bei zunehmender Pigmentierung die Grünremission stärker abnimmt als die Rotremission. Im Bereich sehr starker Pigmentierung (VP 5) sistiert bei weiterer Pigmentierungszunahme die Grünremission, während die Rotremission weiter abnimmt. Auch DORNO (13) stellt infolge von Pigmentzunahme einen größeren Remissionsverlust im Grünen als im Roten fest. PFLEIDERER (54) berichtet von einer Grün-

minderung durch Pigment, die sich beinahe doppelt so groß (um den Faktor 1,88) wie die Rotminderung darstellt. Dabei schränkt er ausdrücklich ein, daß er sich auf Befunde stütze, bei denen es sich um "das normale Hautpigment von Mitteleuropäern" handle. Beim Pigment anderer Rassen vermutet er andere optische Eigenschaften.

4.3. Auflagedruck und Grünremission

BACHEM (2), DORNO (13), HENSCHKE u. SCHULZE (26), ROTTIER u. VAN DER LEUN (60) und SCHALL u. ALIUS (61) u.a. benützen teils den Glasspateldruck zur Unterscheidung von Erythem und Pigment, teils weisen sie darauf hin, daß größerer Auflagedruck des Meßgerätes zu vermeiden ist. Wir hatten dementsprechend erwartet, daß mit zunehmendem Auflagedruck seitens des Meßgerätes auf das Meßfeld die Grünremission ansteigt. Die in 3.3.4. dargestellten Ergebnisse aber ließen generell keinen direkten Zusammenhang von Auflagedruckerhöhung und Grünremissionsanstieg erkennen. Nur an den Meßfeldern mit ausgeprägtem Erythem und an einem Meßfeld ohne Erythem kam es zu Grünremissionsanstiegen, bei 2 dieser Meßfelder erst bei einer Auflagegewichtskraft $G > 0,3 \cdot 9,81 \text{ N}$. Zunächst erscheint der beobachtete Remissionsabfall bei Steigerung des Auflagedruckes nicht plausibel. Es muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß die Ableseung der Remission bei zunehmendem Auflagedruck im Rahmen eines einzigen Meßvorganges erfolgte: Die Ablesung der Remission bei der Auflagegewichtskraft $G = 0,05 \cdot 9,81 \text{ N}$ wurde nach ca. 30 sek nach Aufsetzen des Remissionsphotometers vor-

Abb. 48, Seite 114: Ableseintervall und Grünremission
($\lambda = 546 \text{ nm}$). $D\text{-Rem} = \text{Rem}_{(n \text{ sec})} - \text{Rem}_{(30 \text{ sec})}$
Graphische Darstellung der Differenz der absol. Grünremission, abgelesen bei dem in der Abszisse angegebenen Zeitintervall, und der absol. Grünremission beim Ableseintervall $T = 30 \text{ sec}$.
x = VP 1, Lokal.Geß, T-Bestr. 12 min, Zeitverlauf im Versuch $T = 4 \text{ h}$; Erythem vorhanden
o = VP 1, Lokal. uRü, T-Bestr. 20 min, Zeitverlauf im Versuch $T = 24 \text{ h}$; Erythem vorhanden

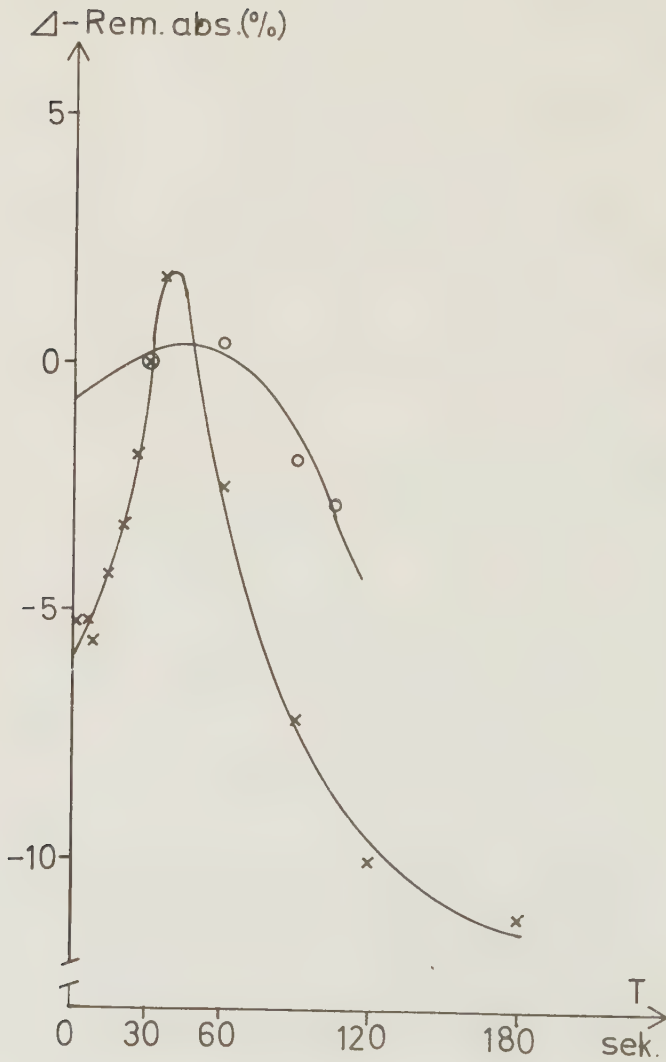


Abb. 48

genommen, nach jeweils weiteren ca. 30 sek wurde die Remission für den nächsthöheren Auflagedruck abgelesen, so daß bis zur Messung der Remission unter dem größten Auflagedruck ca. 4 min verstrichen waren. In Abb. 48 ist die Grünremissionsänderung von 2 UV-bestrahlten Testfeldern mit ausgeprägtem Erythem in Abhängigkeit vom Ablesezeitintervall bei konstantem Auflagedruck dargestellt. Die Darstellung zeigt einen deutlichen Remissionsabfall nach spätestens 60 sek. Dieser Remissionsabfall scheint physiologischer Natur zu sein: Vielleicht liegt in diesem Phänomen eine reflektorische Durchblutungsänderung der Haut im Sinne eines Axon-Reflexes (GANONG; 18) zugrunde, ausgelöst durch das Aufsetzen des Remissionsphotometers auf die Haut. Wir können annehmen, daß der Remissionsabfall bei steigendem Auflagedruck in Abb. 47 eine Überlagerung des in Abb. 48 dargestellten Remissionsabfalles ist. Der zunächst paradox erscheinende Remissionsabfall bei steigendem Auflagedruck würde dadurch verständlich.

4.4. Meßvorschrift und Remissionsmeßapparatur

Zweifelsfrei basiert die gesteigerte Präzision der geänderten Remissionsmeßapparatur zu einem beachtlichen Anteil darauf, daß die Vorbereitungen zur Remissionsmessung, die Remissionsmessung selbst und die Auswertung des Schreiberdiagramms streng nach der in 3.1. dargestellten Meßvorschrift erfolgten. Das Selen-Photoelement, sozusagen die "Seele" der Meßapparatur, wurde ja unverändert als Meßfühler von der alten Meßapparatur übernommen, die Änderungen wurden am Meß-Schenkel vor dem Photoelement (Lichtquelle) und im Meß-Schenkel nach dem Photoelement (elektrischer Verstärker, Registriersystem) sowie an der mechanischen Aufhängung des Remissionsphotometers vorgenommen.

Der Präzisionssteigerung durch die konsequente Anwendung der Meßvorschrift steht allerdings ein erhöhter Zeitaufwand und eine Komplizierung des Meßvorganges gegenüber: Nach kurzen Zeitabständen, bei Verwendung des Filters $\lambda = 691 \text{ nm}$

schon nach jeweils 5 min, muß eine erneute Kalibrierung vorgenommen werden, jede einzelne Messung beansprucht mindestens 30 sek, das Auflagefenster des Remissionsphotometers darf zwischen den einzelnen Remissionsmessungen keinen großen Helligkeitskontrasten ausgesetzt werden und muß deshalb sorgfältig über der Haut bzw. unter Vorblendung des Meßstandards gehandhabt werden. Zudem stellt das Arbeiten im abgedunkelten Raum eine erhebliche Belastung für die Versuchsperson und die den Versuch durchführende Person dar. Da die Auflage des Remissionsphotometers auf das Meßfeld unter Einhaltung des vorgegebenen Auflagedruckes nur möglich ist, wenn sich das Meßfeld horizontal darstellt, sind oft nicht einfach zu bewerkstellende Umlagerungen der Versuchsperson vorzunehmen, will man sich nicht von vornherein auf wenige Meßfelder einer Lokalisation beschränken, die sich bei der liegenden Versuchsperson in einer horizontalen Ebene befinden.

4.5. Verbesserungsvorschläge

a) Photoelektronisches Bauteil

Als schwächstes Glied der Meßapparatur erwies sich das Selen-Photoelement: Die Dunkelstromschwankungen sind erheblich, die Beleuchtungsstärke des remittierten Lichtes ist gegenüber der Beleuchtungsstärke, die zur Erzielung von $I_{\max}$ des Photoelementes notwendig ist, sehr klein und bewirkt nur Photoströme, die geringfügig größer als der Dunkelstrom sind. Die Temperaturabhängigkeit ist unter diesen Anwendungsbedingungen erheblich. Die Verwendung eines geeigneten Photowiderstandes oder einer Photodiode, integriert in eine stabilisierte elektronische Regel-Schaltung ließe erwarten: Eine weitere Steigerung der Meßpräzision, eine Vereinfachung der Handhabung.

b) Aufhängung des Remissionsphotometers

Durch die Aufhängung des Remissionsphotometers an einem Stativ mit Massenausgleich wurden zwar Remissionsmessungen

mit definiertem Auflagedruck ermöglicht, die ursprüngliche Handlichkeit des Remissionsphotometers aber ging verloren. Als Alternative wäre eine kardanische Aufhängung des Remissionsphotometers denkbar. Auf eine transparente Auflagefläche sollte verzichtet und durch eine periphere Fremdlichtabschirmung ähnlich einer Balgensonnenblende bei Filmgeräten ersetzt werden.

c) Meßteil

Im Rahmen des Austausches des Selen-Photoelementes sollte das Meßteil so konzipiert werden, daß eine rasche und unkomplizierte Remissionsablesung möglich ist. Hohe Anforderungen sind an die elektronische Stabilität der Einheit photoelektronisches Bauteil-Meßteil zu stellen, um die Anzahl der nötigen Nachkalibrierungen zu verringern. Eine Orientierung an der von SCHULZ u. BOHNDORF (63) praktizierten Lösung erscheint uns dabei sinnvoll.

5. ZUSAMMENFASSUNG

a)

Zweck dieser Arbeit war es, die am Institut für medizinische Balneologie und Klimatologie der Universität München entwickelte und zu Erythem- und Pigmentmessungen herangezogene Remissionsmeßapparatur apparativ zu verbessern, zu deren Anwendung unter standardisierten Bedingungen eine Meßvorschrift zu erarbeiten sowie die Meßgenauigkeit der modifizierten Remissionsmeßapparatur zu ermitteln.

b)

Verschiedene Möglichkeiten der Erythem- und Pigmentmessung und die zu diesem Zweck entwickelten Remissionsmeßgeräte werden an Hand der Literatur ausführlich dargestellt. Die Ansichten über die Bewertung und die Aussagekraft von Remissionsmeßergebnissen bezüglich Erythem und Pigment werden geschildert.

c)

Die Änderung der Meßapparatur erfolgte unter Beachtung und Vergegenwärtigung der physikalischen Gesetzmäßigkeiten. Die tangierten Grundlagen der Optik und Elektronik werden veranschaulicht.

d)

Die Remissionsmeßapparatur des Institutes erhielt einen neuen Lampenteil mit einer Halogen-Lampe, der Meßteil wurde durch einen Verstärker und ein Voltmeter mit Schreibervorrichtung verbessert. Zur Ermöglichung von Remissionsmessungen mit wählbarem und kontrolliertem Auflagedruck wurde eine Aufhängung mit Massenausgleichsvorrichtung beschafft.

e)

In Probemessungen wurde eine Meßvorschrift entwickelt, welche die Bedienung der Meßapparatur, die Durchführung von Re-

missionsmessungen an Versuchspersonen und die Auswertung der Schreiberprotokolle als standardisiertes Verfahren erlaubt.

f) In Testversuchen konnte belegt werden, daß die geänderte Anlage, wird sie unter Beachtung der Meßvorschrift betrieben, einen deutlich geringeren Meßfehler als die ursprüngliche Meßapparatur aufweist. Der Meßfehler, der sich in einem Variationskoeffizienten von 1,5 % dokumentiert, liegt unter den biologisch bedingten Remissionsschwankungen und bestätigt die Tauglichkeit der Meßapparatur für Erythem- und Pigmentmessungen.

g)

Als Schwachstelle des Meß-Systems erwies sich das Selen-Photoelement, dessen Verhalten im Meßbereich ausführlich beschrieben wird.

6. LITERATURVERZEICHNIS

1. AUTH, J.,
GENZOW, D.,
HERMANN, K.H.: Photoelektrische Erscheinungen.
Verlag Vieweg, Braunschweig (1977)
2. BACHEM, A.: Time factors of erythema and pigment-
ation, produced by ultraviolet rays
of different wavelengths.
Journ. Invest. Dermat. 25, 215 (1955)
3. BAUDACH, H.,
SCHREIBER, H.: Zur Kenntnis des zeitlichen Ablaufs
der UV-Hautreaktion bei Mensch und
Kaninchen.
Strahlentherapie 111, 377 (1960)
4. BAUDACH, H.,
SCHREIBER, H.: Die Beeinflussung des Histaminspiegels
von Kaninchenblut durch UV-Bestrahlung
der Bauchhaut.
Strahlentherapie 136, 375 (1968)
5. BEUTH, K.: Bauelemente der Elektronik, Elektro-
nik 2.
Verlag Vogel, Würzburg (1975)
6. BODE, H.-G.: Zur Analyse der menschlichen Hautfarbe.
Strahlentherapie 43, 565 (1932)
7. BODE, H.-G.: Über spektralphotometrische Untersuchun-
gen an menschlicher Haut unter besonde-
rer Berücksichtigung der Erythem- und Pig-
mentierungsmessung.
Strahlentherapie 51, 81 (1934)
8. BODE, H.-G.,
WITTE, E.: Über den Zusammenhang zwischen absorbier-
ter Strahlenenergie und biologischem Ef-
fekt bei Bestrahlung mit Licht verschie-
dener Wellenlängen.
Strahlentherapie 76, 627 (1947)

9. BRETT, R.,
THEISMANN, H.: Über die Hemmungswirkung von Antihistaminen auf die Ausbildung des UV-Erythems an der menschlichen Haut.
Strahlentherapie 91, 270 (1953)
82. BRUNSTING, L.A.,
SHEARD, CH.: Amer. Journ. Optom. 18, 349 (1929)
10. BÜCKER, H.: Zur Abgrenzung des UV-Erythems durch das unspezifische Strahlungserythem.
Strahlentherapie 111, 404 (1960)
11. BÜTNER, K.: Erythembildung durch Sonnen- und Himmelsstrahlung.
Strahlentherapie 61, 610 (1938)
12. CARTER, H.,
DONKER, M.: Photoelektrische Bauelemente, Theorie und Praxis.
Verlag Philips technische Bibliothek, Eindhoven (1975)
13. DORNO, C.: Beiträge zur Kenntnis des Sonnen- und Quarzlicht-Erythems und -Pigmentes.
Strahlentherapie 22, 70 (1926)
14. EDWARDS, E.A.,
DUNTLEY, S.R.: Amer. Journ. Anat. 65, 1 (1939), zitiert nach TRONNIER, Strahlentherapie 121
15. EVERETT, M.A.,
OLSON, S.: Ultraviolet erythema.
Arch. Dermat. 92, 713 (1965)
16. FINSEN: Die Resultate der Behandlung des Lupus vulgaris durch konzentrierte chemische Lichtstrahlen.
Allgem. Wiener med. Zeitung (1900)
17. FRIEDRICH, W.,
SCHULZE, R.: Bewertung künstlicher Strahlenquellen für therapeutische Zwecke.
Strahlentherapie 66, 609 (1939)

18. GANONG, W.F.: Medizinische Physiologie, 3. Aufl.
Verlag Springer, 550, Berlin (1974)
19. GEIGER, H.: Zur Eignung von UV-Reaktionen der
menschlichen Haut als Kriterium für
Solewirkungen.
Diss. am Baln. Institut der Universi-
tät München (1977)
20. GOLDZIEHER, J.W., Arch. Derm. Syph. 64, 55 (1951), zitiert
EDWARDS, I.S., nach TRONNIER, Strahlentherapie 121
RAWLS, W.B.,
GOLDZIEHER, M.A.:
21. HAUSSER, I.: Über spezifische Wirkungen des lang-
welligen ultravioletten Lichts auf die
menschliche Haut.
Strahlentherapie 62, 315 (1938)
22. HAUSSER, K.W., Die Abhängigkeit des Lichterythems und
VAHLE, W.: der Pigmentbildung von der Schwingungs-
zahl (Wellenlänge) der erregenden
Strahlung.
Strahlentherapie 13, 41 (1921)
23. HEITE, H.J., Methodischer Beitrag zur Pigmentierungs-
WEBER, G.: und Erythemmessung der Haut.
Arch. klin. u. exp. Dermat. 204, 327
(1957)
24. HELMKE, R.: Über die Wirkung von Ultraviolett-,
Röntgen- und Grenzstrahlen auf die Haut
des Schweines.
Strahlentherapie 71, 309 (1942)
25. HENSCHKE, U., Untersuchungen zum Problem der Ultraviolett-
SCHULZE, R.: Dosimetrie. 2. Mitteilung: Methodik von
Erythem- und Pigmentversuchen.
Strahlentherapie 63, 236 (1938)

26. HENSCHKE, U.,
SCHULZE, R.: Untersuchungen zum Problem der Ultraviolett-Dosimetrie. 3. Mitteilung: Über Pigmentierung durch langwelliges Ultraviolett. Strahlentherapie 64, 14 (1939)
27. HENSCHKE, U.,
SCHULZE, R.: Untersuchungen zum Problem der Ultraviolett-Dosimetrie. 4. Mitteilung: Wirkung der Sonnenstrahlung auf die Haut. Strahlentherapie 64, 43 (1939)
28. JANSEN, M.T.: A reflection spectrophotometric study of ultraviolet erythema and pigmentation. Journ. clin. Invest. 32, 1053 (1953)
29. JANSEN, M.T.: Skin reflectometry as applied to irradiation experiments. Proc. 1. Int. Photobiolog. Congr. Amsterdam, 252 (1954)
30. JOHNSON, B.E.,
MIER, P.: Phospholipids and the reaction of skin to ultra-violet radiation. Nature 194 No. 4823, 101 (1962)
31. JOHNSON, B.E.,
MANDELL, G.,
DANIELS, F. jr.: Melanin and cellular reactions to ultraviolet radiation. Nature New Biology 235/2, 149 (1972)
32. JÜNGLING, O.: Vergleichende Untersuchungen über die Wirkung des Sonnenlichtes und des Lichtes der Quecksilber-Quarzlampe ("künstliche Höhensonne") auf die Haut. Strahlentherapie 7, 413 (1916)
33. KAUTZKY, A.: Bestrahlungsdauer und Reaktionsablauf. Strahlentherapie 104, 558 (1957)

34. KLEINSCHMIDT, Jü., Künstliche Bräunung: Gefahren über-
SCHNIZER, W., schätzt?
KLEINSCHMIDT, Jo.: Ärztl. Praxis 31, 3879 (1979)
35. KITANO, Y., The effects of ultraviolet light on
HU, F.: mammalian pigment cells in vitro.
Journ. Invest. Dermat. 52 (1969)
36. KNOX, J.M.: Sunlight and the skin.
Journ. Chronic. Diseases 13, 391 (1961)
37. KIHN, L.: Die Sauerstoffaufnahme der Haut nach
Ultraviolett- und nach Röntgenbestrahlung.
Strahlentherapie 117, 584 (1962)
38. KUPPENHEIM, H.F., Journ. Appl. Physiol. 4, 800 (1952),
HEER, R.R. jr.: zitiert nach TRONNIER, Strahlenthera-
pie 121
39. LANG, H.: Molekulare Mechanismen der biologischen
Wirkung von UV-Strahlen.
Zeitschr.f.d.gesamte inne.Medizin u.
Grenzgeb. 31, 238 (1976)
40. LANGEN, D.: Experimentelle Studien über die Erythem-
bildung der Sonnen- und Himmelsstrahlung.
Strahlentherapie 63, 142 (1938)
41. LOGAN, G., The inflammatory reaction in ultraviolet
WILHELM, D.L.: injury.
Brit. Journ. Exp. Path. 47, 286 (1966)
42. LOGAN, G., Ultra-violet injury as an experimental
WILHELM, D.L.: model of the inflammatory reaction.
Nature 198, 968 (1963)

43. LOGAN, G.,
WILHELM, D.L.: Vascular permeability changes in inflammation.
I. The rule of endogenous permeability factors in ultraviolet injury.
Brit. Journ. Exp. Path. 47, 300 (1966)
44. LOTHMAR, R.: Die Ultraviolett-Strahlung und ihre biologisch-medizinische Bedeutung.
Naturwissensch. Rundschau 25, 89 (1972)
45. MAYER, A.E.H.,
SEITZ, E.O.: Ultraviolette Strahlen, ihre Erzeugung, Messung, Anwendung.
Verlag Walter de Gruyter, Berlin (1949)
46. MIESCHER, G.: Die Schutzfunktionen der Haut gegenüber Lichtstrahlen.
Strahlentherapie 39, 601 (1929)
47. MIESCHER, G.: Strahlenphysiologie der Haut.
Strahlentherapie 66, 615 (1939)
48. MIESCHER, G.,
MINDER, H.: Untersuchungen über die durch langwelliges Ultraviolett hervorgerufene Pigmentdunkelung.
Strahlentherapie 66, 6 (1939)
49. NASEMANN, TH.,
SAUERBREY, W.: Lehrbuch der Hautkrankheiten und venerischen Infektionen.
Verlag Springer, Berlin (1977)
50. OJEDA, F.: Zur Durchlässigkeit der Haut für Edelgase.
Strahlentherapie 140 (1970)
51. OLSON, R.I.,
SAYRE, R.M.,
EVERETT, M.A.: Effect of anatomic location and time on ultraviolet erythema.
Arch. Derm. 93, 211 (1966)
52. PFLEIDERER, H.: Proc. 1. Int. Photobiolog. Congr., Amsterdam, 252 (1954), zitiert nach SCHREIBER, Strahlentherapie 110

53. PFLEIDERER, H.: Cellophantreppen für die Prüfung der Lichtempfindlichkeit der Haut.
Strahlentherapie 90, 572 (1953)
54. PFLEIDERER, H.: Zur Frage der spektralen Remission der Haut unter dem Einfluß von Erythem und Pigment.
Strahlentherapie 111, 399 (1960)
55. PFLEIDERER, H.: Spektralphotometrische Remissionsmessungen an der menschlichen Haut im Bereich von 220 bis 2500 nm.
Vortrag, gehalten auf der 6. Hanauer UV-Tagung 1961.
Strahlentherapie 117, 601 (1962)
56. RABANSER, M.: Beeinflussung der menschlichen Haut durch Solebäder, untersucht anhand des Erythemverlaufs nach UV-Bestrahlung.
Diss. am Baln. Institut der Universität München (1977)
57. ROHE, K.-H.: Elektronik für Physiker.
Verlag Teubner, Stuttgart (1978)
58. ROLLIER: Die Heliotherapie der Tuberkulose mit besonderer Berücksichtigung ihrer chirurgischen Formen.
Ergebnisse d. Chirurgie u. Orthopädie 7 (1913)
59. ROTTIER, P.B.: The erythematogenous action of ultraviolet light on human skin. I. Some measurements of the spectral response with continuous and intermittend light.
Journ. clin. Invest. 32, 681 (1953)

60. ROTTIER, P.P.,
VAN DER LEUN, J.C.: Hyperaemia of deeper cutaneous vessels
after irradiation of human skin with
large doses of ultra-violet and visible
light.
Brit. Journ. Dermat. 72, 256 (1960)
61. SCHALL, L.,
ALIUS, H.-J.: Zur Biologie des Ultraviolettlichts.
III. Mitteilung: Die Reaktion der mensch-
lichen Haut auf die Ultraviolettlicht-
bestrahlung (Erythemablauf).
Strahlentherapie 23, 161 (1926)
62. SCHREIBER, H.: Theoretische Gesichtspunkte der UV-Wirkung
auf Organismen.
Strahlentherapie 110, 179 (1959)
63. SCHULZ, H.-J.,
BOHNDORF, W.: Ein 45°-Remissionsphotometer zur Messung
des Strahlenergythems.
Strahlentherapie 129, 308 (1966)
64. SCHULTZE: Strahlentherapie 38 (1926), zitiert nach
BODE, Strahlentherapie 51
65. SCHULZE, R.: Gewöhnung und Umstimmung der mensch-
lichen Haut bei Bestrahlung mit Sonne
und Ultra-Vitaluxlampe.
Strahlentherapie 86, 51 (1951)
66. SIDWELL, E.A.jr., The salt effect on the hemoglobin-oxygen-
MUNCH, R.H., equilibrium.
GUZMAN BARRON, E.S.,
HOGNESS, T.R.: Journ. Biol. Chem. 123, 335 (1938)
67. SIEBERT, H.-P.: Optoelektronik in der Praxis.
Verlag Pflaum, München (1974)
68. STANKA, P.: Die Melanocyten der Haut: Rezeptoren
für Licht?
Ein Beitrag über die Hautbräunung.
Der Hautarzt 24, 260 (1973)

69. STUTZER, G.: Dosimetrische Untersuchungen über Erythem und Pigmentation bei langwelligen Röntgenstrahlen.
Strahlentherapie 114, 368 (1961)
70. TRONNIER, H.: Über optische Dichteminima der menschlichen Haut.
Strahlentherapie 93, 138 (1954)
71. TRONNIER, H.: Über die UV-Reaktion an der menschlichen Haut. I. Messung und Beurteilung des Erythems. →
Zeitschr. Haut- u. Geschl.Krankh., Bd. XXI, Nr. 1, 8 (1956)
72. TRONNIER, H.: Methodische und apparative Gesichtspunkte zur Messung der menschlichen Hautfarbe.
Strahlentherapie 104, 146 (1957)
73. TRONNIER, H.: Bestimmung der Hautfarbe unter besonderer Berücksichtigung der Erythem- und Pigmentmessung.
Strahlentherapie 121, 392 (1963)
74. TRONNIER, H.: Zur Bedeutung der Hornschicht für die Lichtreaktionen der menschlichen Haut.
Strahlentherapie 132, 128 (1967)
75. TRONNIER, H.,
WAGENER, H.: Ein Gerät zur Messung des Rückstrahlvermögens der Haut.
Strahlentherapie 83, 549 (1950)
76. Stiftung WAREN-TEST: Marktübersicht Heimsolarien.
Test 12, 16. Jahrg. 1060 (1981)

77. WILLIS, I.,
KLIGMAN, A.,
EPSTEIN, J.: Effects of long ultraviolet rays on
human skin: photoprotective or photoaug-
mentative?
Journ. Invest. Dermat. 59/6, 416 (1973)
78. WISKEMANN, A.: Lichtentzündung und Lichtpigmentierung.
Vortrag, gehalten auf der 6. Hanauer
UV-Tagung 1961.
Strahlentherapie 117, 608 (1962)
79. WISKEMANN, A.: Die heutigen Kenntnisse über die Mecha-
nismen der UV-Wirkung auf die mensch-
liche Haut.
Strahlentherapie 122, 463 (1963)
80. WISSENSCHAFT- (1977)
LICHE TABELLEN
GEIGY, Basel:
81. ZETKIN, M., Wörterbuch der Medizin, 2. Aufl.,
KUHTZ, E.-H.,
FICHTEL, R.: VEB Verlag Volk und Gesundheit, Berlin
(1964)

Herrn Dipl. Phys. K. Dirnagl und Herrn Prof. Dr. med. H. Drexel gilt mein Dank für die Überlassung des Themas sowie für die Anregungen und die freundliche Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit.

Danken möchte ich auch Herrn Dr. rer. physiol. Dipl. Phys. J. Kleinschmidt, allen Mitarbeitern des Instituts und nicht zuletzt allen Personen, die sich für unsere Versuche zur Verfügung gestellt haben.

Lebenslauf

Am 15. März 1950 wurde ich als drittes von fünf Kindern des Landarztes Dr. med. Siegfried Röckl und seiner Ehefrau Josefine, geborene Mühllehner in Buch am Erlbach, Kreis Landshut/Bayern, geboren.

Nach fünf Klassen Volksschule und neun Klassen Gymnasium beendete ich am 20. Juni 1970 meine Schulzeit mit dem Abitur am altsprachlichen Zweig des Hans-Carossa-Gymnasiums Landshut.

Zunächst studierte ich an der Universität Innsbruck vier Semester katholische Theologie und legte nach dieser Zeit die erste Diplomprüfung der fachtheologischen Studienrichtung ab. Außerdem studierte ich vom Beginn des Wintersemesters 1971 bis zum 25. Juli 1975 an der Staatlichen Hochschule für Musik München im Hauptfach Oboe und beendete das Musikstudium mit der Künstlerischen Staatsprüfung.

Im September 1973 bekam ich einen Studienplatz für Medizin an der Universität München. Nach zwölf Semestern - während der ersten beiden klinischen Semester studierte ich an der Universität zu Köln - legte ich am 13. Dezember 1979 den mündlichen Teil des Dritten Abschnittes der Ärztlichen Prüfung ab und erhielt am 9. Januar 1980 die Approbation als Arzt.

Im Rahmen des Wehrdienstes war ich in Landsberg/Lech und Ebern/Unterfranken als Truppenarzt tätig.

Seit dem 1. April 1981 arbeite ich als Berufsmusiker in der Stelle des 1. Solo-Oboisten bei den Niederrheinischen Sinfonikern Krefeld/Mönchengladbach.

